ENERGIAGAZDÁLKODÁS

Az Energiagazdálkodási Tudományos Egyesület szakfolyóirata *59. évfolyam 2018. 5. szám*

A magyar energiagazdaság problémáit tárgyaló tudományos és gyakorlati folyóirat

Energiagazdálkodási Tudományos Egyesület

Energiahatékonysági Szakosztály

A következő energetikai audit elkészítésének határideje 2019. december 5.

Kössön mielőbb szerződést a körültekintő energiaveszteség-feltárásra

Cégének energetikai auditálását,
szakreferensi feladatait és/vagy
az ISO 50 001 minősítésre való felkészítést
bízza az ország legjobb szakembereire, az ETE
Energiahatékonysági Szakosztályának a tagjaira.

Tanács és ajánlatkérés: **titkarsag@ete-net.hu**

ENERGIAGAZDÁLKODÁS

Az Energiagazdálkodási Tudományos Egyesület szakfolyóirata *59. évfolyam 2018. 5. szám*

A magyar energiagazdaság problémáit tárgyaló tudományos és gyakorlati folyóirat

Főszerkesztő:
Dr. Gróf Gyula

Olvasó szerkesztő:
Dr. Bihari Péter

Szerkesztőség vezető:
Jaksa Bianka

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

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

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

Felelős kiadó:
Bakács István, az ETE elnöke

A szekesztőség címe:
BME Energetikai Gépek és Rendszerek Tanszék
1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3.
D épület 208 sz.
Telefon: +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.
bukiandras@t-online.hu

Nyomdai munkák:
EFO Nyomda
www.efonyomda.hu

Lapunkat rendszeresen szemlézi a megújult

OBSERVER

www.observer.hu

TARTALOM • CONTENTS • INHALT

Tudomány * Science * Wissenschaft
Nagy Gábor, Woperáné dr. Serédi Ágnes
Katalitikus pirolízis modellezése derivatográf használatával 2
Modelling of the catalytic pyrolysis by using derivatograph
Modellireung der katalytischen Pirolyse mit Derivatograph

Villamos energia * Electric Power * Elektrizität
Csondor Bálint
Az inercia hazai értelmezése 7
Interpretation of inertia requirements for Hungary
Interpretation der Massenträgheitanforderung für Ungarn

Kimpián Aladár
Nemzeti villamosenergia-rendszerek – skandináv módra, Dánia – 1. rész 12
National power systems – the Scandinavian way Denmark – Part 1
Nationale Stromnetzsysteme – auf skandinavischen Art. Dänemark – Teil 1

Megújuló energiaforrások * Renewable Energy Sources * Erneuerbare Energiequellen
Dr. Cséfalvay Edit, Kovács Emese, Dr. Mika László Tamás
Magyarország energiafelhasználásának etanol ekvivalens alapú elemzése 18
Analysis of the Hungarian energy consumption by means of ethanol equivalent
Analyse Ungarns Energieverwendung auf Basis von Ethanol-Aquialent

Tóth János, Farkas István
Blokk-orientált szimulációs keretrendszer napkollektoros alkalmazások vizsgálatára 24
Block-oriented framework for the study of solar thermal applications
Blockorientiertes Framework zur Untersuchung von solarthermischen Anwendungen

Biomassza * Biomass * Biomasse
Garami Attila, Tóth Pál, Szűcs István
Reakció zóna felügyelet rostélyos, biomassza tüzelésnél 30
Reaction zone monitoring in step-grate biomass combustion
Überwachung der Reaktionszone bei der Biomassenrostfeuerung

Környezetvédelem * Environmental protection * Umweltschutz
Szilágyi Zsombor
A környezetbarát fatüzelés 35
Environment friend wood combustion
Naturfreundliche Holzfeuerung

Kovács Róbertné V.P.
Tejipari szennyvízkezelő berendezés beállítási paramétereinek optimálása 38
Optimization of Operational parameters for dairy wastewater pre-treating system
Optimierung der betriebsparameter für das milch abwasservorbehandlung system

Földgáz * Natural gas * Erdgas
Szolyák Zsuzsanna
Földgáz távvezetéki kompresszorállomások elemeinek és feladatainak bemutatása 41
Presentation of the elements and tasks of natural gas pipeline compressor stations
Vorstellung der Bestandteile und Aufgaben von Verdichterstation im Erdgasfernnetz

VEP * VEP * VEP
Orbán Tibor, Szalai Szabolcs
Napelemes kiserőművek telepítése a FŐTÁV Zrt. fűtőműveiben 46
Solar panel locating at FŐTÁV Zrt. stations
Solarkleinkraftwerke im Niederlassungen von FŐTÁV Zrt.

Energiapolitika * Energy Policy * Energiepolitik
Molnár László
A kínai gazdaság és energetika 48
Chinese economy and energy, Part 1
Wirtschaft und Energetik in China, Teil 1

Hírek * News * Nachrichten
A második legnagyobb hazai erőmű lesz a Virtuális Erőmű 50
Virtual powerstation will be the second largest in Hungary
Das virtuelle Kraftwerk wird das zweitgrösste Kraftwerk Ungarns

A klímapolitikáért és az energetikáért felelős helyettes államtitkárok 51
Deputy State Secretaries
Stellvertretende Staatssekretäre

Szeniorok * Seniors * Senioren
Szeniorok program, 2018. ősz 52
Senior Club Programme for the 2nd half of 2018
Senior-Klub Programme – II. Halbjahr 2018

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

Katalitikus pirolízis modellezése derivatográf használatával

Nagy Gábor
kohómérnök, nagy.gabii86@gmail.com

Woperáné dr. Serédi Ágnes
c. egyetemi tanár, tuzdb@uni-miskolc.hu

Világviszonylatban a megtermelt élelmiszerek jelentős része hulladékként végzi, ami a világ fejlettebb országai esetén sokkal erőteljesebben jelentkezik. Az élelmiszer hulladékok egy lehetséges hasznosítási formája lehet a pirolízis, amely során további hasznosítható szilárd, folyadék és gáz halmazállapotú termékek keletkeznek. Ezen hulladékok felhasználásának gazdaságosabbá tétele érdekében kisebb nedvesség tartalmú tölgyfával kevertük és a keveréket pirolizáltuk. A folyamatokat katalizátorokkal segítettük, amit laboratóriumi reaktorban végzett kísérleteken és derivatográfos vizsgálatok eredményein keresztül hasonlítottunk össze.

*

Worldwide, a huge portion of the produced food becomes waste which is a more prominent phenomenon in the developed countries. One of the possible utilisations of food wastes can be pyrolysis to produce usable solid, liquid and gaseous products. In order to make the use of food wastes even more economic, low moisture content oak was added to the food waste and the mixture was pyrolysed. The reactions were improved by the addition of catalysts. The effects were compared using a lab-scale reactor and derivatographic analysis.

* * *

Pirolízis során az alapanyagot oxigénmentes vagy oxigénszegény környezetben, általában 400-1000 °C közötti hőmérsékletre hevítik [1]. Ebben a hőmérséklet tartományban megtörténik a szervesanyag bomlása. Az alapanyag minősége és a pirolízis körülményeinek függvényében az alapanyagól különböző mennyiségű és minőségű gáz és folyadék halmazállapotú termékek keletkezése mellett szilárd halmazállapotú anyag is visszamarad. Ezek elsődleges hasznosítási területe az energetika, de egyre növekszik azon kutatások száma, amelyekben a gázt és folyadékot vegyipari alapanyagként, a szilárd anyagot pedig gáz és víztisztításra, vagy talajjavítóként alkalmazzák [2].

A pirolízis alkalmas hasznosítási módszer lehet az élelmiszer hulladékok számára is. Egy 2016-os EU jelentés szerint [3] 2012-ben az EU-28 tagállamaiban összesen kb. 143 milliárd euro értékű gazdasági kárt okozott az élelmiszerek hasznosítás nélküli hulladékká válása. 2010-ben ez az USA esetén több, mint 130 milliárd dollár volt [4]. Az EU-ban az élelmiszer hulladékok 14%-a származik a vendéglátóiparból [5], ezt a típust nevezik étkezdei hulladéknak. Pirolízis szempontjából ezen hulladékok legnagyobb hátránya a nagy nedvességtartalom. Ennek csökkentésére az egyik leggazdaságosabb módszer az, amikor valamilyen szárazabb alapanyaggal keveréket állítanak elő, majd ezt használják a pirolízishez.

A katalizátorok alkalmazásával csökkenthető a kémiai reakciók aktiválási energiája, ezáltal nő a reakciósebesség. A biomasszák és hulladékok pirolízise során számos anyagot felhasználnak, melyek katalitikus hatást fejtenek ki. Ilyen anyagok például a zeolitok, alkálifémek, fémsók, fém-oxidok, aktív szén stb. [6-11].

A cikkben bemutatásra kerülő kutatás során célunk kettős volt. Egyrészt vizsgáltuk laboratóriumi pirolízis során a választott katalizátorok hatását, másrészt derivatográffal modelleztük a katalitikus pirolízist. Ennek során feltérképeztük, hogy egy pár órás, kis mennyiségű mintát felhasználó vizsgálattal milyen közelítéssel helyettesíthető a hosszadalmas laboratóriumi kísérlet.

Anyagok és módszerek

A kísérletekhez alapanyagként egy modellkeveréket állítottunk elő, amely 2 tömegarányban természetes úton szárított tölgyfát és 1 tömegarányban étkezdei hulladékot tartalmazott. Az étkezdei hulladék négyféle összetevőből állt: főtt rizs, sült burgonya, rántott sertésszelet és sült csirkemell, melyeket 1:1:1:1 tömegarányban kevertünk. Ezáltal ez a keverék tartalmazta azokat az ételeket, amelyek egy átlagos étkezdében napi szinten megjelennek. A modellkeverék tulajdonságai az 1. táblázatban láthatók.

1. táblázat. **A modellkeverék jellemzői**

Paraméter	Mennyiség	Paraméter	Mennyiség
Nedvességtartalom (m/m%)	20,16	Karbontartalom (m/m% száraz anyagra vonatkozva)	48,67
Illótartalom (m/m% száraz anyagra vonatkozva)	60,14	Hidrogéntartalom (m/m% száraz anyagra vonatkozva)	5,92
Fix-karbon tartalom (m/m% száraz anyagra vonatkozva)	38,22	Nitrogéntartalom (m/m% száraz anyagra vonatkozva)	2,87
Hamutartalom (m/m% száraz anyagra vonatkozva)	1,64	Kéntartalom (m/m% száraz anyagra vonatkozva)	0,14
Égéshő (MJ/kg)	19,21	Oxigéntartalom (m/m% száraz anyagra vonatkozva)	42,40

A katalizátorként használt analitikai tisztaságú NaCl-ot a vizsgálatok és kísérletek előtt szárítottuk és őröltük 0,125 mm alatti szemcseméretre, a zeolitot és a dolomitot pedig 900 °C-os kalcinálás után őröltük 0,125 mm alatti szemcseméretre. Az alkalmazott dolomit 100%-ban dolomit ásványt tartalmazott, a zeolit forgalmazója szerint pedig a 2. táblázatban látható összetétellel rendelkezett.

2. táblázat. **A felhasznált zeolit összetétele**

Komponens	SiO_2	Fe_2O_3	CaO	K_2O
Mennyiség (m/m%)	70,50±1,50	1,25±0,25	2,25±0,75	4,45±0,55

Komponens	Al_2O_3	MgO	Na_2O
Mennyiség (m/m%)	11,0±1,00	1,25±0,25	0,65±0,35

A laboratóriumi kísérletekhez és a derivatográfos vizsgálatokhoz használtuk az eredeti modellkeverék mellett az 5 m/m% katalizátorral kevert alapanyagokat is. Az alkalmazott jelölések és azok magyarázata a 3. táblázatban szerepel.

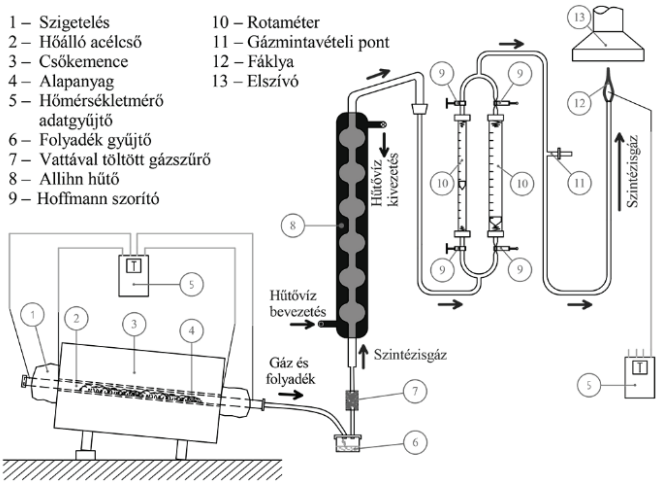
3. táblázat. A cikkben alkalmazott jelölések és azok jelentése

Jelölés	Magyarázat
Mk	Eredeti modellkeverék, amely 2:1 tömegarányban tartalmaz tölgyfát és étkezdei hulladékot. Az étkezdei hulladék 1:1 tömegarányban kevert főtt rizs, sült burgonya, rántott sertésszelet és sült csirkemell.
Mk+D	Az eredeti modellkeverékhez 5 m/m% mennyiségben hozzáadott, 900 °C-on kalcinált dolomit.
Mk+Z	Az eredeti modellkeverékhez 5 m/m% mennyiségben hozzáadott, 900 °C-on kalcinált zeolit.
Mk+NaCl	Az eredeti modellkeverékhez 5 m/m% mennyiségben hozzáadott NaCl.

A termoanalitikai vizsgálatokhoz MOM Derivatograph-C típusú készüléket használtunk, amely lehetővé teszi a termogravimetriás (TG) és differenciál-termoanalízis (DTA) vizsgálatok szimultán elvégzését levegő és inert atmoszférában is. A mérés során rögzített görbékkel (derivatogram) nyomon követhetők a hőmérséklet növekedés hatására lezajló folyamatok. A TG görbe a tömegváltozás egyszerű függvénye, melyet deriválva kapjuk a DTG görbét, ez a tömegváltozás sebességére utal. A DTA görbe elemzésével információt kapunk a derivatográf kemencéjébe helyezett minta és a mellé helyezett inert referenciaanyag hőmérsékletének különbségéről, ezáltal a mintában végbemenő exoterm és endoterm folyamatok beazonosíthatók [12, 13]. Az adatgyűjtés és kiértékelés WinderC programmal történt. Az általunk használt Derivatograph-C készülék fényképe az 1. ábrán látható. A vizsgálathoz 105 °C-on tömegállandóságig szárítottuk az alapanyagot, majd argon atmoszférában 20 °C/perc fűtési sebességgel növeltük a hőmérsékletet a 700 °C eléréséig. A hőmérséklet választást az indokolta, hogy a hagyományos pirolizáló rendszerek többsége 600-700 °C-on üzemel [1].

A laboratóriumi pirolizáló rendszer vázlata a 2. ábrán látható. A reaktor fűtött szakaszába 40-50 g anyag beadagolása lehetséges. A kemence inert gázzal történő átöblítés nélkül üzemelt. A bekapcsolást követően 20 °C/perc sebességgel 700 °C-ig történt a reaktor fűtése, majd ezt hőntartási szakasz követte addig, amíg a gáztermelés 1 l/h alá csökkent. A 700 °C elérését követően a gázképződés gyorsan csökkent, ezért a derivatográfos eredményekkel történő összehasonlítás megkönnyítése érdekében a gázképződést és a gázösszetételt csak 700 °C-ig mutatjuk be.

A pirolizáló rendszerben képződő gáz mennyiségét rotaméterrel mértük, a gáz H_2, CO, CO_2, CH_4, C_2H_6, C_2H_4 (a szénhidrogének összesen C_xH_y-ként összegezve) O_2 és N_2 tartalmát pedig TCD detektorral szerelt Dani Master gázkromatográffal határoztuk meg.



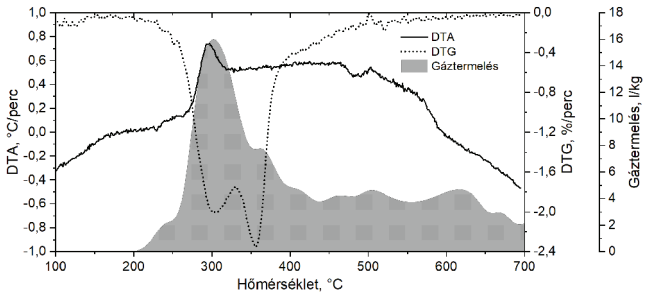
2. táblázat. **A laboratóriumi pirolizáló rendszer**

Eredmények

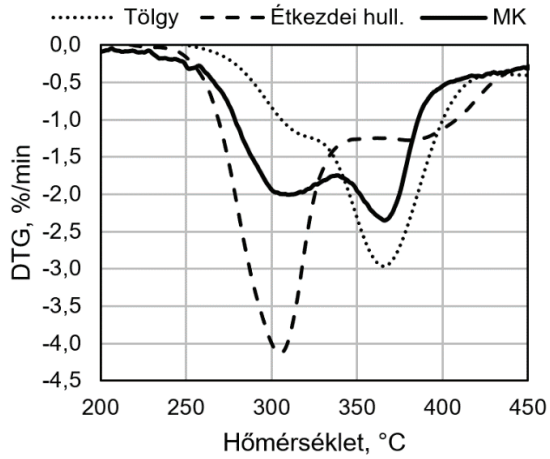
A 3. ábrán a katalizátor nélküli modellkeverék laboratóriumi pirolízise során a gázképződés változása látható a hőmérséklet növelésének függvényében. Ennek maximuma kb. 300 °C-on következik be, majd a gázképződés csökkenni kezd, ami kb. a 440 °C-os reaktorhőmérséklet elérésig tart. Ezt követően a közel egyenletes gázképződés 640 °C fölött csökkenni kezd. A minta tömegcsökkenésének sebességét vizsgálva a DTG görbén két csúcs látható (300 és 360 °C-os csúcsmaximummal), melyek közül az első helye megegyezett a gázképződés maximumával. A görbén látható második csúcs is megtalálható a *„Gáztermelés"* görbén, de ott a csúcs mérete sokkal kisebb. Ennek oka, hogy azon a hőmérsékleten a tömegcsökkenés sebessége habár nagy, az illóanyagok nagyrésze már eltávozott az anyagból, így a gáztermelés növekedése kicsi volt. A 4. ábrán a tölgyfa, az étkezdei hulladék és ezek keverékének DTG görbéi alapján megállapítható, hogy az első csúcs jellemzően az étkezdei hulladékból, a második pedig a tölgyfából adódik.

A 3. ábrán látható DTA görbén 300 °C-on egy exoterm csúcs látható, ott, ahol a gázképződésnek is maximuma van, emellett 480 °C-on egy endoterm csúcs is megjelenik, amit követően a *„Gáztermelés"* görbén kismértékű növekedés látható.

1. ábra. **MOM Derivatograph-C készülék**

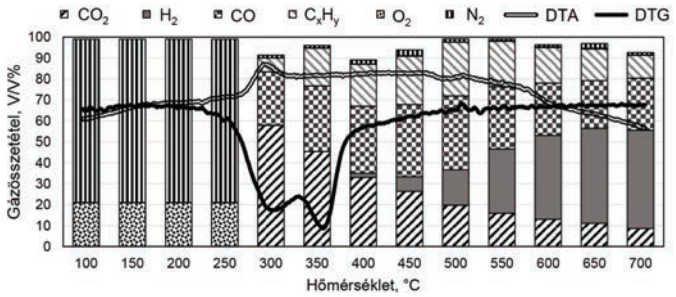


3. ábra. **Az „MK" minta laboratóriumi pirolízise során a gázképződés változása és a derivatográfos vizsgálat során felvett DTG és DTA görbék**



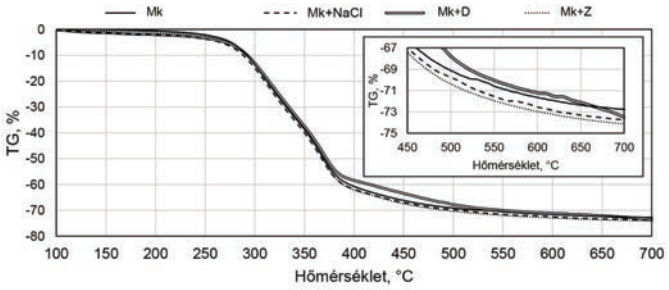
4. ábra. **Az alapanyagok és a keverék DTG görbéi**

A gázösszetételt vizsgálva a reaktorhőmérséklet függvényében (5. ábra) 250-300 °C között kezdődik a gázképződés. A 300 °C-on (a legintenzívebb tömegcsökkenés hőmérsékletét követően) vett gázminta közel 60 V/V%-os CO_2 tartalommal rendelkezett. A DTA görbén 300 °C-on látható exoterm csúcs az éghető gázkomponensek meggyulladására enged következtetni, amit nagyrészt a reaktorba zárt levegő okoz. Ez igazolja a nagy CO_2 tartalmat. Mivel a reaktorba zárt levegő oxigéntartalma gyorsan elfogy, az égés rövidesen befejeződik, amit a DTA csúcs eltűnése mellett a CO_2 tartalom csökkenése, valamint a CO és H_2 tartalom növekedése jelzett. 500 °C közelében látható egy kisméretű endoterm csúcs a DTA görbén, ott jelentkezett a legnagyobb CO és C_xH_y tartalom. Ez a szakirodalomnak is megfelel [14], biomassza pirolízis során 500 °C környékére tehető a gáz halmazállapotú szénhidrogének intenzív bomlásának kezdete. A hőmérséklet növelésével a szénhidrogének bomlása következtében mennyiségük csökken, a H_2 tartalom pedig rohamosan növekedni kezd, ami a folyamat végéig fennmarad.



5. ábra. **Az „MK" minta laboratóriumi pirolízise során képződő gáz összetételének változása, összehasonlítva a deivatográfos vizsgálatok DTA és DTG görbék lefutásával**

A katalizátorok hatásait a TG görbéken keresztül (6. ábra) vizsgálva, a dolomitot tartalmazó minta kivételével a tömegcsökkenés nagyon hasonlóan ment végbe. A dolomit alkalmazása során a tömegcsökkenés 380 és 510 °C között lényegesen kisebb mértékű volt, mint a többi esetben, ami alapján ez az anyag nagyobb hőmérsékletű pirolízis során előnyös. A görbék 450-700 °C közötti tartományba eső részén látható, hogy a NaCl és a zeolit a folyamatok kezdetétől kifejtik kismértékű hatásukat. Ezzel szemben a dolomit hatása 650 °C fölött kezd érvényesülni. Ez a jelenség összhangban van a laboratóriumi kísérletek során megfigyelt alapanyag konverzióval (4. táblázat).

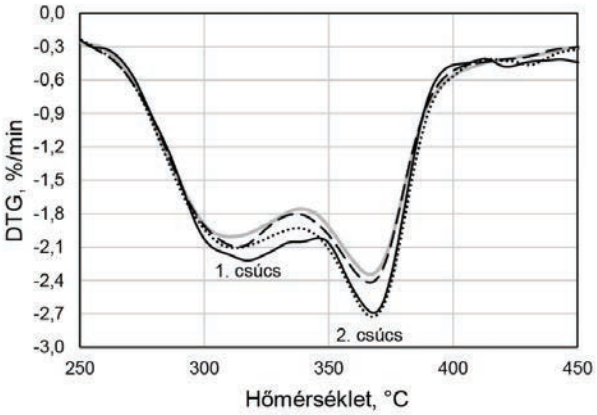


6. ábra. **A katalizátorok hatása a minták tömegcsökkenésére**

4. táblázat. A pirolízistermékek arányai

Alapanyag	Koksz (%)	Folyadék (%)	Gáz (%)
Mk	23,7	53,1	23,2
Mk+D	21,3	54,6	24,1
Mk+Z	17,0	47,8	35,2
Mk+NaCl	19,7	55,1	25,2

A DTG görbék jellemző csúcsait megvizsgálva (7. ábra) megállapítható, hogy a katalizátorként alkalmazott anyagok hozzáadása mindkét csúcsot növelte. Alias és társai szerint [15] a DTG görbe csúcsának mérete arányos a reakcióképességgel, ez alapján mindhárom katalizátor alkalmazása gyorsítja a folyamatokat. A csúcsmaximumok hőmérsékletértékei minimális mértékben tolódtak el, az első csúcs esetén ez maximum 9 °C, a második esetén pedig maximum 1 °C volt.



Alapanyag	1. csúcs		2. csúcs	
	T_{max}, °C	Méret, %/min	T_{max}, °C	Méret, %/min
Mk	309	-1,997	366	-2,348
Mk+NaCl	312	-2,099	365	-2,402
Mk+D	316	-2,330	367	-2,666
Mk+Z	308	-2,102	366	-2,712

7. ábra. **A katalizátorok hatása a DTG görbék alakulására**

A termoanalitikai elemzések eredményei alapján vizsgálni lehet az anyagokban végbemenő tömegváltozások kinetikáját, melynek menete a szakirodalom [16, 17] alapján a következő alapegyenletekre vezethető vissza.

A szilárd állapotban lezajló reakciók kinetikáját az alábbi egyenlet írja le:

$$\frac{d\alpha}{dt} = k(T)f(a) \qquad (1)$$

ahol:

- α konverziós tényező [-];
- k reakciósebességi állandó [mol/s];
- T hőmérséklet [K];
- t idő [min].

A konverziós tényező kifejezve a lebomlott minta tömegcsökkenéséből:

$$\alpha = \frac{m_i - m_a}{m_i - m_f} \qquad (2)$$

ahol:

- m_i a minta kezdeti tömege [g];
- m_a az aktuális tömeg [g];
- m_f a pirolízis utáni tömeg [g].

A reakciósebesség hőmérséklet függését az Arrhenius egyenlet írja le, mely alapján a reakciósebességi állandó (k) értéke az alábbiak szerint alakul:

$$k = Ae^{\frac{-E_a}{RT}} \qquad (3)$$

ahol:

- E_a aktiválási energia [J/mol];
- T abszolút hőmérséklet [K];
- R gázállandó [8,314 J/molK];
- A pre-exponenciális tényező [1/min].

Számos kinetikai modell létezik a folyamatok leírására, melyek közül a Kissinger módszeren [17] alapul a WinderC program számítási algoritmusa. Ennek helyes alkalmazásához legalább 4 különböző fűtési sebességgel végrehajtott termoanalitikai vizsgálat szükséges, amit a WinderC program kiértékelő rendszere bizonyos egyszerűsítések mellett helyettesíteni tud egy vizsgálattal. Ez a módszer elfogadható eredményt hoz az egylépcsős folyamatok esetén [18] (például kiszárított minták hőbomlása), viszont az egyszerűsítések miatt más termoanalitikai módszer eredményeivel nem hasonlíthatók össze ezek az eredmények, csak az ilyen módszerrel vizsgált esetekkel.

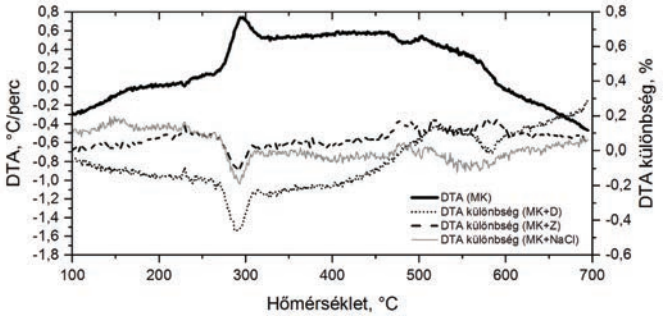
A fent bemutatottak alapján a használt kiértékelő programmal több kinetikai paraméter is kinyerhető, melyek közül az aktiválási energia a legfontosabb (5. táblázat). Mivel a tömegcsökkenés a modellkeverék két fő alkotója esetén (tölgyfa és étkezdei hulladék, 4. ábra) eltérően ment végbe, külön vizsgáltuk a TDG görbén látható két csúcs környezetében lévő szakaszokat (230-350 és 350-500 °C) külön.

Az aktiválási energiákat vizsgálva (5. táblázat) mindkét hőmérséklet intervallumban csökkent az aktiválási energia a katalizátorok hatására, így ezen anyagok alkalmazása előnyösen befolyásolja az alapanyagkeverék hőbomlását.

5. táblázat. Aktiválási energia a WinderC alapján

Minta	Aktiválási energia, kJ/mol	Aktiválási energia változás, %
Hőmérséklet tartomány: 230-340 °C		
MK	79,55	-
MK+D	75,10	-5,6
MK+Z	77,11	-3,1
MKNaCl	78,13	-1,8
Hőmérséklet tartomány: 340-500 °C		
MK	123,13	-
MK+D	117,21	-4,8
MK+Z	116,93	-5,1
MK+NaCl	121,82	-1,1

Az inert atmoszférában végzett vizsgálatok DTA görbéit összehasonlítva (8. ábra) a katalizátorok a modellkeverék esetén jelentkező exoterm csúcsot csökkentették, a képződő gázok begyulladása kisebb mértékű volt. Az 500 °C közelében látható endoterm csúcs esetén számottevő eltérést nem okoztak a katalizátorok.



8. ábra. **Az „MK" minta DTA görbéje és a katalizátoros görbék különbsége az „MK" mintához hasonlítva**

Összefoglalás és következtetések

Étkezdei hulladék és tölgyfa keverékét pirolizáltuk laboratóriumi rendszerben katalizátorok (NaCl, valamint kalcinált dolomit és zeolit) hozzáadásával és anélkül. Ezeket a kísérleteket derivatográfos vizsgálatokkal is modelleztük. Mindkét kísérletsorozat ugyanazt eredményezte, a katalizátorok hatására a kísérlet végére kevesebb szilárd anyag marad, mint katalizátor alkalmazása nélkül. Az egyes katalizátorok alapanyag konverzióra gyakorolt hatása laboratóriumi méretben és a derivatográfos vizsgálatok során is hasonló volt.

A gázképződést összehasonlítva a DTG görbével, a DTG görbe első jelentős csúcsa jelzi a legnagyobb gázképződést, a későbbiekben a tömegcsökkenés következtében a nagyobb csúcsok kevésbé intenzíven jelennek meg a gáztemelésben. A DTG görbe lefutása és a gázösszetétel változás között nincs megfigyelhető összefüggés, viszont a DTA görbe exoterm csúcsnál CO_2 növekedés, az endoterm csúcsnál pedig CO és H_2 növekedés jelentkezett, illetve az endoterm csúcstól kezdve jelentősen csökkent a C_xH_y és nőtt a H_2 tartalom.

Az aktiválási energia csökkenése is igazolja a katalizátorok hatását, viszont a minták tömegcsökkenése nem volt összhangban a laboratóriumi méretben visszamaradt szilárd anyagok mennyiségével. Ennek oka valószínűleg a kiértékelő szoftver által végzett egyszerűsítésekben rejlik.

A bemutatottak alapján a derivatográfos vizsgálatokkal modellezhető a pirolízis, vizsgálható a tömegcsökkenés és a gázösszetétel változásával kapcsolatban is levonható néhány következtetés.

Köszönetnyilvánítás

A kutatás az Emberi Erőforrások Minisztériuma ÚNKP-17-3. kódszámú Új Nemzeti Kiválóság Programjának támogatásával készült

Irodalomjegyzék

[1] Basu, P.: Biomass Gasification, Pyrolysis and Torrefaction: Practical Design and Theory - Second Edition. Elsevier Inc., 2013.
[2] Dagiya, A.: Bioenergy: Biomass to biofuels. Elsevier, 2015.
[3] Stenmarck, Å., Jensen, C., Quested, T., Moates, G.: Estimates of European food waste levels. IVL Swedish Environmental Research Institute, 2016.
[4] Vogliano, C., Brown, K.: The State of Amerinca's Wasted Food & Opportunities to Make a Difference. Academy of Nutrition and Dietetics Foundation, 2016.
[5] Barilla Center for Food & Nutrition: Food waste: causes, impacts and proposals, Parma, 2012.
[6] Li, P., Li, D., Yang, H.P., Wang, X.H., Chen, H.P.: Effects of Fe-, Zr-, and Co-Modified Zeolites and Pretreatments on Catalytic Upgrading of Biomass Fast Pyrolysis Vapors. Energy & Fuels, 2016/30.
[7] Saddawi, A., Jones, J.M., Williams, A.: Influence of alkali metals on the kinetics of the thermal decomposition of biomass. Fuel Processing Technology, 2012/104.
[8] Mahadevan, R., Adhikari, S., Shakya, R., Wang, K., Dayton, D., Lehrich, M., Taylor, S.E.: Effect of Alkali and Alkaline Earth Metals on in-Situ Catalytic Fast Pyrolysis of Lignocellulosic Biomass: A Microreactor Study. Energy & Fuels, 2016/30.
[9] H.L. Liu, X.Q. Ma, L.J. Li, Z.F. Hu, P.S. Guo, Y.H. Jiang: The catalytic pyrolysis of food waste by microwave heating. Bioresource Technology, 2014/166.
[10] Hu, Z.F., Ma, X.Q., Chen, C.X.: A study on experimental characteristic of microwave-assisted pyrolysis of microalgae. Bioresource Technology, 2012/107.
[11] Ye, X.N., Lu, Q., Wang, X., Guo, H.Q., Cui, M.S., Dong, C.Q., Yang, Y.P.: Catalytic Fast Pyrolysis of Cellulose and Biomass to Selectively Produce Levoglucosenone Using Activated Carbon Catalyst. Acs Sustainable Chemistry & Engineering, 2017/5.
[12] Paulik F., Paulik J.: Termoanalízis. Műszaki Könyvkiadó, 1963.
[13] Erdey L., Paulik J.: Thermoanalízis. Tankönyvkiadó, 1965.
[14] Klass, D.L.: Biomass for Renewable Energy, Fuels, and Chemicals. Elsevier, 1998.
[15] Alias, A.B., Rashid, Z.A., Rahman, N.A., Ghani, W.A.W.A.K.: Thermal behaviour study of senakin coal and Refuse Derived Fuel (RDF) blends during pyrolysis using thermogravimetric analysis. International Journal of Environment and Waste Management, 2012/10.
[16] Slopiecka, K., Bartocci, P., Fantozzi, F.: Thermogravimetric analysis and Kinetic study of poplar wood pyrolysis. Third International Conference on Applied Energy, 2011.
[17] Heydari, M., Rahman, M., Gupta, R.: Kinetic Study and Thermal Decomposition Behavior of Lignite Coal. International Journal of Chemical Engineering, 2015.
[18] Arnold M., Somogyvári P., Paulik J., Paulik F.: Derivatograph-C – A microcomputer-controlled simultaneous TG, DTG, DTA, and EGA apparatus 2. A simple method of estimating kinetic parameters. Journal of Thermal Analysis, 1987/32.

Áder János köztársasági elnök beszéde a Global Climate Action Summit nemzetközi klímacsúcs záró plenáris ülésén a San Francisco-i Moscone Center kongresszusi központban, 2018. 09.14.

Tisztelt Hölgyeim és Uraim!

Amikor Kalifornia kormányzója, Jerry Brown úr meghívott minket erre a találkozóra, világossá tette a meghívásában: csak azért ne jöjjön senki San Franciscóba, hogy egy újabb lelkesítő vagy elkötelezettséget tükröző beszédet mondjon. Arra kért mindannyiunkat, hogy a hátizsákunkban legyenek konkrét vállalások is.

Ráadásul Jerry Brown magasra tette a mércét az elmúlt napokban meghozott döntéseivel. Önök mind a két döntést nyilvánvalóan ismerik. 2045-re a kaliforniai áramtermelés 100%-ban szén-dioxid-mentes lesz, és ugyancsak erre az időpontra, 2045-re a teljes kaliforniai gazdaság dekarbonizációja megtörténik. Ezekkel a döntésekkel várt bennünket Kalifornia kormányzója.

Az elmúlt napokban sokan és sokféleképpen beszéltek a klímaváltozás ránk leselkedő veszélyeiről. Ha az itt elhangzottakat, az előttem szólók gondolatait egy mondatban kellene összefoglalni és arra a kérdésre válaszolni, hogy mi az üzenete ennek a mostani klímakonferenciának, akkor ez az üzenet egy mondatban számomra így hangzik: ma már nem az a kérdés, hogy mi történik a Föld atmoszférájával, hanem civilizációnk jövője a tét. Ezt az üzenetet érdemes elvinnünk majd a következő klímakonferenciára Katowiczébe is.

És most lássuk Magyarországot! Magyarország Európa szívében egy kicsi ország, tízmilliós ország, több mint ezer éves történelemmel, és a kibocsátás szempontjából nyilván sem az Egyesült Államokhoz, sem Kínához nem mérhető. Mégis azon 21 ország közé tartozik a világon, ahol 1990 óta úgy nőtt a GDP 50%-kal, hogy közben az energia-felhasználás 15%-kal, az üvegházhatású gázok kibocsátása 32%-kal csökkent. Ez a múlt.

Beszéljünk a jövőről. A magyar kormány elfogadta a Nemzeti Éghajlat Stratégiát. Ez egy hosszú, 200 oldalas dokumentum, de a legfontosabb célkitűzése, hogy 1990-hez viszonyítva 2050-re 85%-kal csökkenti Magyarország az üvegházhatású gázok kibocsátását. 85%-kal. És van egy másik vállalásunk is, ráadásul rövidebb időtartamra, 2030-ra. Ez pedig úgy szól, hogy a magyarországi áramtermelés 90-95%-a szén-dioxid-mentes lesz, ezt atomenergia, illetve a napenergia révén kívánjuk elérni.

Párizs lendülete megtört. Akár Marrakesht nézzük, akár a többi klímatanácskozást, nyugodtan mondhatjuk, hogy Párizs lendületét a szubnacionális szervezetek tudták fenntartani az elmúlt két és fél, három évben. Ezért is javasoltam és jó szívvel támogattam azt, hogy elsőként, közel három évvel ezelőtt Magyarország fővárosa, Budapest csatlakozzon az Under2 mozgalomhoz. És most, két nappal ezelőtt másik 23 város csatlakozott ehhez a mozgalomhoz. Ezen az ábrán a kis zöld pontok ezeket a magyar városokat jelölik, a nagy zöld pötty Magyarország fővárosát. Jól láthatják ezen az ábrán, hogy ezek a települések Magyarország népességének körülbelül 40%-át képviselik.

Mi az, ami még a puttonyban van, mi az, ami még a hátizsákban van? Két magyar találmányról szeretném önöket tájékoztatni. Mind a kettő érinthet minket úgy is, mint fogyasztókat, és érinthet minket úgy is, ha mezőgazdasággal foglalkozunk, mint mezőgazdasági termelőket. A jelenlévők nyilván pontosan tudják, hogy üvegházhatású gázok kibocsátásának 17%-áért a mezőgazdaság felelős, és ennek nagy része az állattartáshoz kötődik. 20 éves kutatómunka eredménye egy magyar találmány, ami a kérődző állatok esetében 80%-kal tudja csökkenteni a metánkibocsátást úgy, hogy a hús és tej minősége még javul is.

Vízfelhasználásunknak a 70%-a kötődik a mezőgazdasághoz, nyugodtan mondhatjuk, hogy minden csepp számít. A 21. század kérdése: hogyan lehet kevesebb egy főre eső vízből egyre kisebb területen egyre több ember számára kell az élelmiszert megtermelni. A másik magyar találmány, amit az önök figyelmébe szeretnék ajánlani, egy olyan környezetbarát szer, ami a talaj vízmegtartó-képességét javítja, méghozzá akár 40-50% mértékben, ezáltal csökkenti az aszálykárokat, és ráadásul a környezetet sem károsítja.

Tisztelt Hölgyeim és Uraim!

A cselekvésre az időnk egyre kevesebb, a felelősségünk viszont az idő előrehaladtával egyre nő. Megköszönve megtisztelő figyelmüket, Mark Twain gondolatával szeretnék búcsúzni önöktől: „Húsz év múlva jobban fogod sajnálni azokat a dolgokat, amiket nem tettél meg, mint azokat, amiket megtettél."

Köszönöm.

Az inercia hazai értelmezése

Csondor Bálint
villamosmérnök, csondor.balint@eszk.org

A megújuló energiaforrások térnyerésével nő a rendszerben található teljesítményelektronikai eszközön keresztül a hálózatra csatlakozó termelőegységek aránya. A növekedés hatására csökken a villamosenergia-rendszer inerciája, mely hatására a rendszert érő teljesítményváltozások következtében a frekvenciaváltozás gradiensének mértéke megnő. A frekvenciaváltozás gyorsaságának növekedésével előfordulhat, hogy a villamosvédelmek nem képesek a fellépő hibát orvosolni. Magyarországnak a szomszédos országokkal való szigetüzemi működése során a frekvenciastabilitást vizsgáltam növekvő penetrációjú megújuló termelés esetére. Az eredmények értékelésekor a RoCoF és minimális frekvencia értékeket vettem figyelembe. A vizsgálatok során szintetikus inercia lehetőségét is figyelembe vettem.

*

By the expansion of renewable energy sources, more and more energy generating units are connected to the power grid via converters. This increasingly penetration can decrease system's inertia and also make frequency stability problems. After a blackout Hungary and its neighbours could be managed as an isolated system. In this article I write about the frequency stability in this situation. I examined the RoCoF values and the value of the minimal frequency with and without synthetic inertia.

* * *

A megújuló energiaforrások folytatódó térnyerésével tovább nő a rendszerben azon termelőegységek és fogyasztói berendezések aránya, melyek teljesítményelektronikai eszközökön keresztül csatlakoznak a hálózathoz. Ezek a termelők – a hagyományos szinkrongenerátorokkal ellentétben – és a fogyasztók nem rendelkeznek olyan mértékű forgó tömeggel, mely képes lenne a frekvenciaváltozások ellen hatva a rendszer stabilitását támogatni. A probléma lehetséges feloldását jelentik a szintetikus (vagy mesterséges) inercia teljesítményszabályozással történő igénybevételének irányába tett lépések.

Frekvenciastabilitás

Frekvenciastabilitás a rendszer azon képessége, hogy milyen mértékben képes a frekvenciát a névleges értéken tartani. A frekvencia a teljesítmény betáplálás, illetve vételezés eltérése következtében változik. Ha a rendszerben többletteljesítmény jelenik meg, akkor a frekvencia megemelkedik, ha hiányos állapot áll fenn, akkor a frekvencia csökken. A névleges értéktől jelentősen eltérő frekvencia a rendszer egyes elemeinek kieséséhez, illetve egyes részek szigetüzeméhez vezethet.

A frekvencia névleges értéken tartásához a rendszerirányítónak folyamatos teljesítmény-frekvencia szabályozást kell végeznie. A frekvencia névleges értéke 50 Hz, a megengedhető maximális eltérés ± 200 mHz. 47,5 Hz és 51,5 Hz-es frekvenciaértékek túllépésekor a rendszer összeomlása szinte elkerülhetetlen. A villamos teljesítmény egyensúly felbomlásakor jelentkező teljesítményváltozást több módon is korrigálhatja a rendszerirányító. A csereteljesítmény változtatásával, az erőművi betáplálások módosításával, illetve a fogyasztók korlátozásával is lehetőség van a teljesítmény-frekvencia szabályozásra. A frekvencia szabályzás szempontjából a legfontosabb szabályzási módok a FCR – Frequency Containment Reserves (Primer szabályzás), a FRR – Frequency Restoration Reserves (Szekunder szabályozás), a RR – Replacement Reserves (Tercier szabályozás). Lehetőség van egyéb beavatkozásokra is, melyek üzemzavar során segíthetik a teljesítmény egyensúly visszaállítást. Ilyen beavatkozás pl. a frekvenciafüggő fogyasztói terheléskorlátozásra (FTK). A primer szabályozás az erőművi gépegységeknél rendelkezésre álló forgótartalékot automatikusan aktiválja a primerszabályozás karakterisztikájának megfelelően, ha a frekvencia eltér a névleges értéktől. A szekunder szabályozás esetén az erőművi gépegységeknél rendelkezésre álló forgótartalékot aktiválja a rendszerirányító. A szekunder tartalék aktiválása történhet automatikusan (AGC) vagy a diszpécser manuális beavatkozásával. A tercier tartalék legalább 5 MW-ot elérő, 5 MW/15 perc változási sebességgel, lassabb reakcióidővel igénybe vehető tartalék. A rendszerirányító FTK-t jelentős frekvenciazavarral járó üzemzavari helyzetben alkalmaz, ha a frekvencia 49 Hz alá csökken. Ilyenkor meghatározott fogyasztókat lekapcsol a villamosenergia-rendszerről. [1]

Inercia

A villamosenergia-rendszer termelőegységeinek nagy részét a forgó tömeggel rendelkező szinkrongépek teszik ki. Ha a rendszerben nagy teljesítményváltozás jön létre, akkor a szinkrongépek forgó tömegében tárolt kinetikus energia képes a gépet érő villamos hatások következményeinek enyhítésére. A gép inerciája segítséget nyújt, hogy a hirtelen nagy teljesítményváltozás miatt fellépő nagymértékű frekvenciaváltozás gradiensét még a primer szabályozás aktiválódása előtt csökkentse.

Tranziens állapotban az állandósult állapottól eltérően a villamos teljesítmény és a mechanikai teljesítmény egyensúlya megbomlik, az úgynevezett lengési egyenlet érvényesül. [2]

$$P_m = P_{gmax} \cdot \sin\delta + D \cdot \Delta\omega + T \cdot \varepsilon \qquad (1)$$

ahol

- P_m a turbina tengelyen átadott mechanikai teljesítménye,
- P_{gmax} az átvihető maximális hatásos teljesítmény (hibaállapottól függő),
- δ terhelési szög,
- D csillapítási tényező (a forgórész áramok szöglengését csillapító hatása)

$\Delta\omega = \frac{d\delta}{dt} = \omega - \omega_H$ a forgórész és a hálózat közötti szögeltérés

$T = \omega \cdot \Theta$ a turbina-generátor forgórész összperdülete, Θ a tehetetlenségi nyomaték,

$\in = \frac{d\Delta\omega}{dt} = \frac{d^2\delta}{dt}$ a forgórész szöggyorsulása.

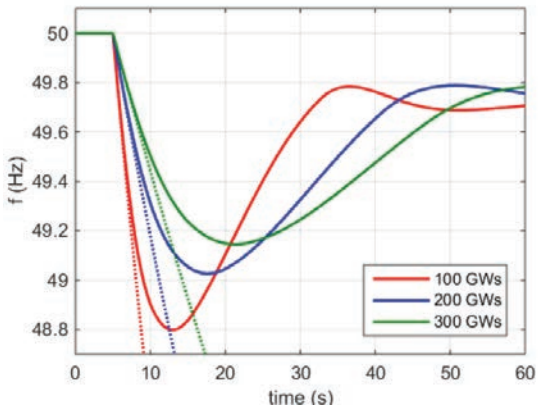
A perdület meghatározása a gépegységben névleges fordulatszámon tárolt kinetikus energia alapján történhet. Ehhez álló állapotból kell a forgórészt a gépegység névleges teljesítményével megegyező értékű hatásos teljesítménnyel gyorsítani. Ekkor *H* idő alatt éri a névleges fordulatszámot (f_o).

$$H \cdot S_n = \frac{1}{2}\omega_o^2 \cdot \Theta = \frac{1}{2} T \cdot 2\pi \cdot f_o \qquad (2)$$

$$T = \frac{H \cdot S_n}{\pi \cdot f_o} \qquad (3)$$

A perdület képlete alapján definiáljuk a H időt a turbina-generátor egység inercia állandójának, melynek mértékegységét másodpercben értelmezzük.

$$H = \frac{T \cdot S_n}{\pi \cdot f_o}[s] \qquad (4)$$



1. ábra. **Az inercia hatása a frekvencia változásra [3]**

A 1. ábra jól mutatja, hogy különböző mértékű inerciával, illetve kinetikus energiával rendelkező gépegységek, hogyan reagálnak a frekvencia változásra termeléskiesés esetén. A szaggatottal jelölt vonalak jelzik a primerszabályozás nélküli esetet, míg a folytonos vonallal jelzettek a primerszabályozás hatását is figyelembe veszik. Az ábrán látható, hogy az inercia hatással van a frekvenciaváltozás kezdeti meredekségére, illetve ez befolyásolja a frekvencia változását az első pár szekundumban a primer szabályzó aktiválódásáig. Primer szabályozott esetben jól látható, hogy minél nagyobb kinetikus energiát tárol a gépegység, annál kisebb lesz a frekvenciaváltozás. Ha a gépegység nem rendelkezne a forgó tömegben tárolt kinetikus energiával, akkor a primer szabályzó aktiválódásig a frekvencia olyan nagymértékben eltérne, hogy nem lenne lehetséges a visszaállítása szabályzással. Az inercia csökkenésének következtében a frekvenciaváltozás sebessége megnőhet, mely következtében a frekvencia változása olyan gyorsan történik, hogy a védelmek és a primer szabályzók nem képesek reagálni a frekvenciaváltozásra. Emiatt rendkívül fontos a rendszer inerciájának megőrzése. [3]

Szintetikus inercia

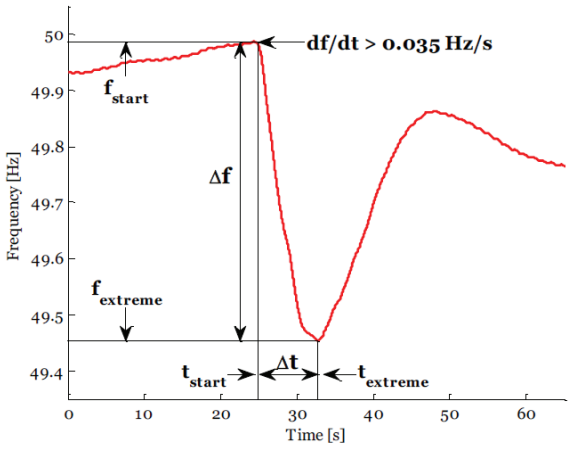
A jelenlegi villamosenergia-rendszeren egyre több nem szinkron módon csatlakozó termelő egység jelenik meg. Ezek a termelő egységek valamilyen teljesítményelektronikai eszközön (frekvenciaváltón, inverteren) keresztül csatlakoznak a hálózatra. Tipikus ilyen termelőegységek a szélturbinák egyes típusai és a napelemes erőművek. Az ilyen típusú termelőegységek csatlakozása esetén fellépő inercia hiány pótlására lehetőség van az úgynevezett szintetikus (mesterséges) inercia alkalmazására. A szintetikus inercia előállítása során lényegében a kimeneti teljesítményt úgy szabályozzák, mintha a gépegység forgó tömeggel rendelkezne. Ezzel a szinkrongenerátorok hatását emulálja, azonban a szabályzási körök pontatlansága, illetve késleltetése miatt nem tud olyan pontos lenni, mint a valódi forgó tömeggel rendelkező gépegységek. [4]

Szélerőművek esetében a forgó lapátokban tárolt kinetikus energia segítségével, a lapátszög állításával állítják elő a szintetikus inerciát. Ekkor a gépegység nem az optimális munkapontban üzemel, mely hatására a rotor lassul, mely meghatározza a szintetikus inercia szolgáltatásának hosszát. Ezzel a módszerrel lehetőség van a betáplált villamos teljesítmény növelésére is.

Napelemes rendszerek nem rendelkeznek mozgó alkatrésszel, így nem is tárolnak kinetikus energiát, nem rendelkeznek inerciával. A le irányú szabályozásban egyszerűen részt vehetnek, ha korlátozzák a teljesítmény betáplálásukat. A fel irányú szabályozásra azonban nem képesek. A napelemes erőművek szintetikus energiaképzésében az energiatárolók nyújthatnak segítséget. Széles teljesítmény spektrummal és gyors válaszidővel rendelkező tárolók képesek lehetnek a szintetikus inercia képzésére.

RoCoF

Frekvenciaváltozás vizsgálatakor nehézséget jelent, hogy a frekvencia folyamatosan változik a névleges érték körül. A névleges érték körüli kis változások a rendszer velejárói. Ha a frekvencia értéke rövid idő alatt nagy változást mutat, akkor az, valamilyen hibára, üzemzavarra utal. Ebben az esetben azonban meg kell határozni, hogy a frekvenciastabilitás vizsgálatakor mely változásokat vesszük figyelembe, illetve melyeket hanyagoljuk el. [3]



2. ábra. **Példa a frekvenciaváltozásra [3]**

A folyamatos változás következtében nehéz pontosan definiálni az üzemzavart okozó frekvenciaváltozás kezdetét. Egyik módja a kezdeti pont meghatározásának a *df/dt* arány vizsgálata. A nemzetközi szakirodalom ezt a hányadost RoCoF-nek (Rate of Change of Frequency) nevezi, mely magyar fordításban a frekvenciaváltozás rátáját jelenti. A RoCoF Hz/s dimenziójú egység.

A frekvenciaváltozás gyorsaságának (RoCoF) maximuma az üzemzavart követő pillanatban lép fel. Ez alapján a következő összefüggés írható fel:

$$RoCoF_{max} = \frac{df}{dt_{max}} = \frac{\Delta P}{P_{Terhelés}} \cdot \frac{f_o}{H_{sys}} \qquad (5)$$

ahol

ΔP a rendszerben fellépő teljesítmény változás,
$P_{terhelés}$ a fogyasztók által felvett teljesítmény (veszteséggel),
H_{sys} a rendszer inercia állandója,
f_o a névleges frekvencia.

Az összefüggés alapján belátható, hogy abban az esetben, ha a rendszer inerciája csökken, akkor a RoCoF értéke növekszik, azaz a frekvenciaváltozás kezdeti meredeksége nő.

Termelőegységek leképzése és modellezése

A frekvenciastabilitás vizsgálatához dinamikus szimulációk futtatására van szükség. A dinamikus vizsgálatok bonyolult matematikai számításokat igényelnek és rendkívül erőforrásigényesek, mivel a legegyszerűbb számítások sem végezhetők el a generátorok, a turbina és a gerjesztésszabályozó részletes dinamikai modellje nélkül. Amíg állandósult állapot vizsgálatához elegendő néhány skalárjellemző megadása, addig a dinamikus modellhez szükség volt a különböző szabályzási tagok definiálására. Ebből fakadóan a dinamikai modellezés során kompromisszumokkal kellett élni, a modell mélységét úgy megválasztani, hogy kielégítse a vizsgálat szempontjából támasztott elvárásokat. A szimulációkat a MAVIR ZRt. dinamikus modelljén a Siemens PSS®E 33 hálózatszimulációs programcsomaggal végeztem. A loadflow paraméterek a MAVIR SPECTRUM rendszer snapshotja alapján készült. A PSS®E modellkialakításához illeszkedő dinamikai paraméterkészlet összeállítása a BME bevonásával történt. Kiindulásként az ETSV hálózat szimulációs szoftver paraméterezése és szabályozási sémái álltak rendelkezésre. A dinamikai modellek validálására a PSS®E és az ETSV hálózat szimulációs programokban egy öt csomópontból álló vizsgálati modell volt összeállítva. E modelleken generátor közeli szimmetrikus zárlatokat szimulálva mindkét rendszerben vizsgálhatók voltak az időbeli folyamatok, és ezek egyezéséből vagy különbözőségéből következtetni lehetett a modellezés jóságára. A modell kialakítás folyamatáról és eredményéről részletes beszámoló olvasható Szabó László „A magyar villamosenergia-rendszer dinamikai biztonsága hálózattervezési célú vizsgálati rendszerének kialakítása. Tanulmány M1. Melléklet; 2006. december” című tanulmányában. [5]

A termelőegységek modellezéséhez az IEEE szabvány modelljeit használja fel a hálózatmodell. Az elnevezések szabványos IEEE elnevezések, melyek pontos leírása megtalálható az IEEE kiadványaiban [6] [7], illetve a PSS@E 33 szoftver Model Library kiadványban. [9]

Napelemes erőművek modellezése

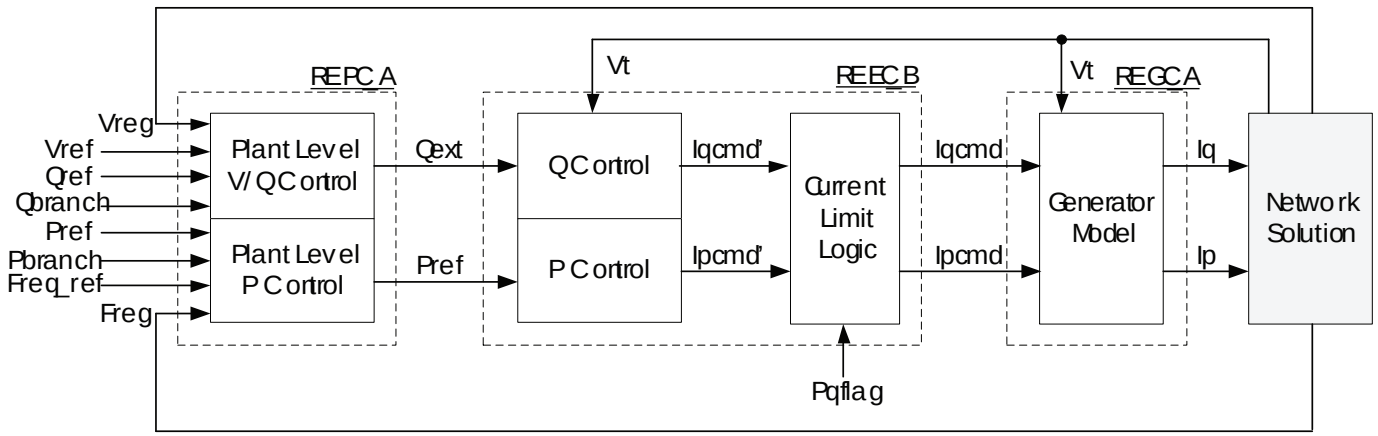
A MAVIR ZRt. dinamikus modelljében nem kerültek külön leképzésre a napelemes rendszerek. A jövőben várható jelentős növekedésük miatt azonban jelentős hatásuk lehet a hálózat dinamikus viselkedésére. Munkám során a már meglévő modellt kiegészítettem a napelemes rendszerek dinamikus modelljével.

A PSS@E program több lehetőséget is biztosít a napelemes erőművek modellezésére. A modell megalkotásához a Western Electricity Coordinating Council (WECC) Solar Plant Dynamic Modeling Guidelines-t [6] használtam fel. A felhasznált modell alkalmas nagyméretű napelemes erőművek reprezentálására. Három fő részből tevődik össze:

- REGCAU1 (REPC_A) modul reprezentálja a generátor/konverter (inverter) egységet. Az egység feldolgozza a REECBU1 modulból érkező hatásos és meddő áram parancsokat, melyek hatására táplál a hálózatba valós és meddő áramot.
- REECBU1 (REEC_B) modul reprezentálja az elektronikus vezérlését az inverternek. A modul feladata, hogy a REPCAU1 modulból érkező referencia jelek, illetve a hálózat feszültsége alapján biztosítsa a REGCAU1 modul számára a hatásos és meddő áram parancsokat.
- REPCAU1 (REGC_A) modul reprezentálja az erőmű vezérlését. A modul feldolgozza a feszültség és meddő teljesítmény jeleket az U-Q szabályzáshoz, illetve feldogozza a frekvencia és hatásos teljesítmény jeleket a hatásos teljesítmény szabályozáshoz.

Energiatároló egységek

A napelemes rendszerek kimeneti teljesítmény szabályzása helyett az energiatároló egységek alkalmasabbak szintetikus inercia képzésére. Ehhez olyan energiatároló egységre van szükség, mely rövid idő alatt nagy teljesítmény leadására képes. Abban az esetben, ha magas a frekvencia értéke, akkor az energiatároló képes felvenni a többletenergiát. Az energiatároló feltöltése történhet me-



3. ábra. **A napelemes erőmű moduláris felépítése [6]**

netrendszerűen más termelőegység felszabályzásával is. Abban az esetben pedig, amikor a frekvencia értéke csökken, az eltárolt energiájának a hálózatba történő gyors betáplálása esetén csökkenthető a frekvenciaváltozás nagysága.

A PSS@E program több lehetőséget is biztosít az energiatározók modellezésére. Western Electricity Coordinating Council (WECC) Battery Storage Dynamic Modeling Guidelines-ban [10] részletes leírás található energiatározó modellezésére. A modell hasonlóan a napelemes modellhez három fő részből tevődik össze, a különbséget a REECCU1 modul jelenti a REECBU1-hoz képest A REECCU1 modul a REECBU1 modul kiegészítését jelenti egy szabályzóval. A szabályzó figyelembe veszi az akkumulátor töltési állapotát (SOC - State of Charge), illetve a tároló egység töltési idejét. Dolgozatomban rövid idejű szimulációkat végzek, így feltételezem, hogy a tárolóegységek minden időpillanatban olyan töltöttségi szinttel rendelkeznek, amelyek kielégítik a teljesítmény igényeket. Ez azt jelenti, ha a szimuláció során termelői kiesést szimulálok, akkor a tárolóegységek töltöttségi szintje 100%, míg fogyasztói kiesés esetén az akkumulátorok töltöttségi szintje 0%. Ebben az esetben a töltési idő és a töltési szint paramétereinek beállítása nem fontos, így elegendő a napelemes rendszer REPCAU1 szabályzó modelljét a megfelelő szabályzó paraméterekkel beállítani. Az akkumulátor statizmusának beállítása nagyságrendekkel nagyobb értéket vesz fel, ezzel biztosítható, hogy viszonylag gyorsan, rövid idő alatt, nagy teljesítményt tápláljon a hálózatba.

Az energiatároló egységek jelentős támogatást nyújthatnak frekvenciastabilitás terén a növekvő napelemes penetrációval rendelkező hálózatok számára. Az energiatárolókkal megvalósítható fel, illetve le irányú szabályzás is. A gyakorlatban a nagy teljesítménykiesés a termelői oldalon valószínűsíthetőbb, emiatt a frekvencia szabályzási céllal telepített akkumulátoros tároló egységek esetén célszerű a maximális kapacitáshoz közelebb beállítani a töltöttségi szintet. Ez azt jelenti, hogy a töltöttségi szintet pl. 80%-osra kell beállítani. Ekkor az akkumulátor képes lehet a le irányú szabályozásban is gyors segítséget nyújtani, de a fő feladata a frekvencia csökkenéskor jelentkező teljesítményhiány pótlása, a szintetikus inercia biztosítása.

Szimulációs számítások eredményei

A vizsgálatok során célom volt, hogy a magyarországi villamosenergia-rendszer stabilitását vizsgáljam. A magyarországi rendszer szinkron jár az európai összekapcsolt villamosenergia-rendszerekkel, ezért a frekvenciastabilitás szempontjából jelentős hatással van a magyar hálózatra az európai rendszer. Az ENTSO-E elemzések alapján az európai rendszer inercia állandója nagyobb, mint 10 s. Az ENTSO-E vizsgálatok során 2,3 s-os inercia állandó értéke mellett is 49,2 Hz volt a frekvencia minimuma 3 GW mértékű teljesítmény kiesés esetén. Ez azt jelenti, hogy az európai összekapcsolt rendszer esetén az inercia csökkenése nem jelent problémát a rendszerirányítók számára. Azonban abban az esetben, ha az összekapcsolt rendszer üzemzavar következtében szigetekre bomlik, pl. a magyarországi rendszer szigetüzemben üzemel, akkor már jelentős probléma léphet fel a kismértékű inerciából adódóan.

A fentiek figyelembevételével a szimulációs számításokat egy fiktív szigetüzemű működés esetére vizsgáltam. A fiktív szigetüzem azt jelentette, hogy Magyarország a szomszédos országok villamosenergia-rendszerével alkot szigetüzemet. Ez az üzemállapot lehetőséget ad arra, hogy a rendszer elviselje valamely erőmű kiesését, mégis viszonylag alacsony teljesítményű szigetüzemet jelent. Továbbá az együttműködő villamosenergia-rendszerben alacsony a valószínűsége, hogy Magyarország teljes szigetüzembe kerüljön.

A vizsgálat során 13 058 MW volt a generátorok által a hálózatba táplált teljesítmény. Három nagy szcenáriót különböztettem meg. Az első esetben a paksi atomerőmű egyes blokkja esett ki az üzemből. Ez a blokk mindkét generátorának kiesését jelentette. A második esetben az egyes blokkal egy időben a második blokk generátorai is kiestek a termelésből. A harmadik szcenárióban a paksi két blokk kiesésével egy időben egy ausztriai erőmű szinkrongenerátora is kiesett a termelésből, így összesen 1 584 MW-os teljesítményhiány lépett fel. A generátorok kiesése minden esetben a vizsgálat 30 másodpercében történt.

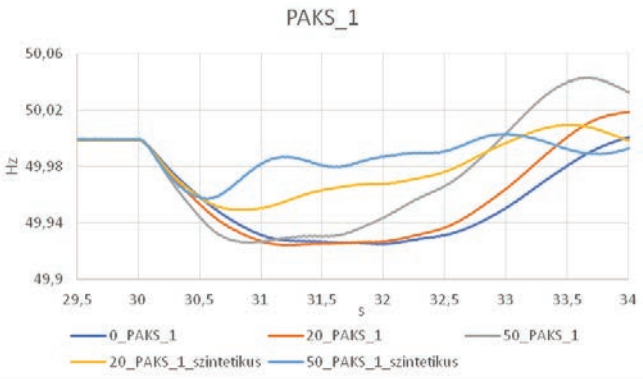
Az egyes szcenáriókban különböző napelemes penetrációk esetén (0%, 20%, 50%) vizsgáltam a frekvenciastabilitást. Ezt követően a napelemes rendszereket szintetikus inercia képző egységekkel láttam el, majd a különböző penetrációkra hasonlóan elvégeztem a vizsgálatokat.

Az eredmények kiértékeléséhez az albertirsai alállomás 400 kV-os gyűjtősínét vettem alapul. A kiértékelések során a mérési pontok megválasztása nem triviális, hiszen a villamos távolság és a rendszerközi lengések miatt eltérhet a frekvencia értéke. Továbbá a frekvencia értékét befolyásolhatja, hogy erőművi, illetve egyéb alállomási gyűjtősínt vizsgálunk. A kis villamos távolságok miatt a magyar rendszerben a frekvencia nem tér el jelentősen a gyűjtősínek között, illetve a rendszerközi lengéseket is elhanyagolhatjuk. Az eredmények során a RoCoF értéke mellette a minimális frekvencia értékét figyeltem. RoCoF kiértékeléséhez az első fél másodpercet vettem figyelembe. A modell nem tartalmazza a fogyasztói terheléskorlátozás modelljét, illetve a rendszerirányító célja, hogy elkerülje a terhelés korlátozást, így az eredményekben, ha a frekvencia 49 Hz-et elérte, azt „FTK" jelzéssel jelöltem. Az eredmények vizualizációja esetében az inercia szempontjából fontos - a termeléskiesés bekövetkezése utáni - első négy másodpercet ábrázoltam. A frekvencia a minimumát egyes esetekben későbbi időpontban éri el.

1. táblázat. Egy paksi blokk kiesésének eredményei

PAKS_1 **Kiesés: 550 MW**

PV penetráció	RoCoF (0,5 s)		Min. frekvencia	
	Szintetikus inercia nélkül	Szintetikus inerciával	Szintetikus inercia nélkül	Szintetikus inerciával
0%	0,081		49,925	
20%	0,092	0,083	49,924	49,949
50%	0,111	0,083	49,926	49,957

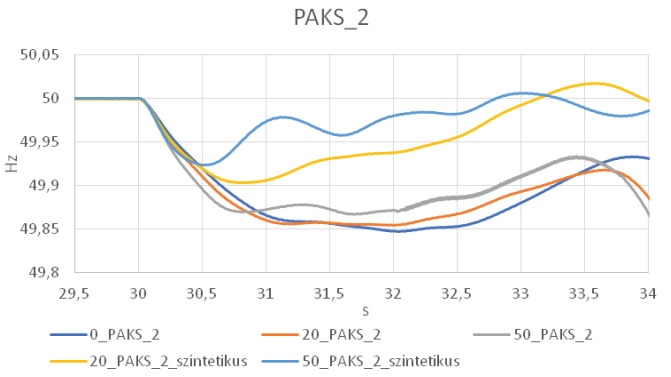


4. ábra. **Egy paksi blokk kiesésének eredményei**

2. táblázat. Két paksi blokk kiesésének eredményei

PAKS_2 **Kiesés: 1100 MW**

PV penetráció	RoCoF (0,5 s)		Min. frekvencia	
	Szintetikus inercia nélkül	Szintetikus inerciával	Szintetikus inercia nélkül	Szintetikus inerciával
0%	0,161		49,436	
20%	0,179	0,160	49,289	49,903
50%	0,208	0,152	FTK	49,924

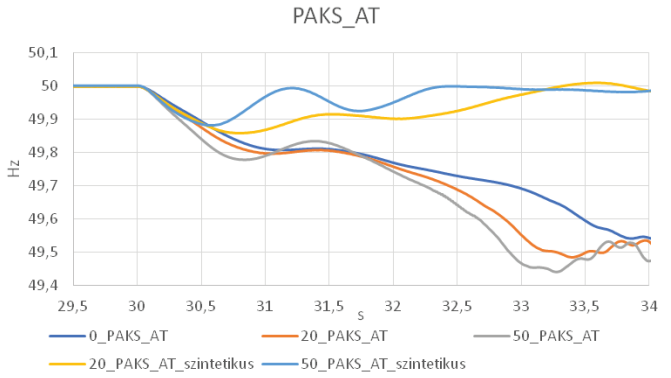


5. ábra. **Két paksi blokk kiesésének eredményei**

3. táblázat. Két paksi blokk és egy ausztriai erőmű kiesésének eredményei

PAKS_AT **Kiesés: 1584 MW**

PV penetráció	RoCoF (0,5 s)		Min. frekvencia	
	Szintetikus inercia nélkül	Szintetikus inerciával	Szintetikus inercia nélkül	Szintetikus inerciával
0%	0,214		49,400	
20%	0,249	0,223	49,231	49,794
50%	0,320	0,232	FTK	49,880



6. ábra. **Két paksi blokk kiesésének eredményei**

Az eredmények alapján látható, hogy a kiesés mértékétől függetlenül a napelemes penetráció növekedésével növekedett a RoCoF értéke, azaz meredekebb volt a frekvenciaváltozás a kiesést követően. Ahogy az várható volt, a kiesés mértékével, illetve a napelemes penetráció növekedésével is csökkent a minimális frekvencia értéke. PAKS_2 és PAKS_AT szcenáriók esetében 50%-os napelemes penetráció mellett a frekvencia minimális értéke olyan alacsony lett, hogy a hálózaton fogyasztói terheléskorlátozást kellett volna alkalmazni.

Szintetikus inercia alkalmazásával az eredmények jelentősen javultak. A RoCoF értéke az energiatároló egységekkel kiegészített napelemes rendszerek esetén jelentősen javult. A paksi blokkok kiesése esetén még 50%-os napelemes penetráció mellett is képes volt a napelemes rendszer nélküli állapot elérésére, sőt az 1100 MW-os kiesés esetén, 50%-os napelemes penetráció esetében még javultak is a RoCoF értékek.

A szintetikus inercia, illetve az energiatárolók alkalmazásának lehetősége a minimális frekvencia vizsgálatakor mutatja meg jelentőségét. Az eredmények között látható, hogy a PAKS_2 és PAKS_AT szcenáriók esetén a szintetikus inercia alkalmazása mellett, nemhogy fogyasztói terheléskorlátozásra nincs szükség, de még az erőművek primerszabályozói is elegendők a teljesítmény-frekvencia kiszabályozására. A PAKS_AT szcenárió kivételével 49,9 Hz felett maradt a frekvencia minimális értéke. A PAKS_AT esetén is csak az 50% napelemes penetráció mellett érte el a frekvencia minimális értéke a 49,88 Hz-et.

Összefoglaló

A szimulációs számítások világosan rámutatnak a szintetikus inercia jövőbeli szerepére. Kijelenthető, hogy a villamosenergia-rendszer a növekvő teljesítményű megújuló energiaforrás mellett veszít a stabilitásából. Ez azonban nem mutatkozik meg mindaddig, amíg valamilyen üzemzavar nem jelentkezik, illetve a kontinentális Európa villamosenergia-rendszere szinkron módon együtt jár. Ha valamilyen üzemzavar következtében az egyes országok rendszerei szigetüzemi működésbe kerülnek, - akár több ország együttvéve - akkor a növekvő penetrációjú napelemes rendszerek jelentős problémát okozhatnak a teljesítmény-frekvencia egyensúlyban. A magyarországi rendszer a szomszédos országokkal szinkron üzemben még nagyobb teljesítménykiesést is képes elviselni, mindaddig, amíg a megújuló penetráció 50% felé nem emelkedik. A fenntartható fejlődést szem előtt tartva azonban a megoldás sokkal inkább a szintetikus inerciában rejlik, mintsem a megújuló energiaforrások teljesítményének korlátozásában. A szintetikus inercia alkalmazásával a rendszer teljesítmény-frekvencia szabályozásának minősége is javul.

Irodalomjegyzék

[1] ENTSO-E, Network Code on Load- Frequency Control and Reserves
[2] Faludi A. és Szabó L., Villamosenergia-rendszer üzeme és irányítása oktatási segédanyagok
[3] ENTSO-E: Nordic report, Future system inertia.
[4] Táczi I., Possible Role and Effects of Synthetic Inertia on the Future's Power System, 2016.
[5] Gölöncsér P., „A magyar villamosenergia-rendszer tranziens stabilitásának rendszerszintű vizsgálata". Elektrotechnika, 2010.
[6] IEEE, Recommended Practice for Excitation System Models for Power System Stability Studies – 1992.
[7] IEEE, Recommended Practice for Excitation System Models for Power System Stability Studies, 2005.
[8] Siemens Energy Inc., PSS@E Modul Library.
[9] WECC, „WECC Solar Plant Dynamic Modeling Guidelines," 2014.
[10] WECC, „WECC Battery Storage Dynamic Modeling Guideline," 2016.

Nemzeti villamosenergia-rendszerek – skandináv módra
Dánia – 1. rész.

Kimpián Aladár
ny. főmérnök, akimpian@t-online.hu

Az európai földrész villamosenergia-ellátásának egyik sajátos alrendszere a skandináv országok – Dánia, Norvégia, Svédország és Finnország – villamosenergia-rendszer egyesülése, a Nordic.

*

One of the particular subsystems of supplying electricity on the European continent is the Nordic – union of the national electricity systems of the Scandinavian countries (Denmark, Norway, Sweden and Finnland).

* * *

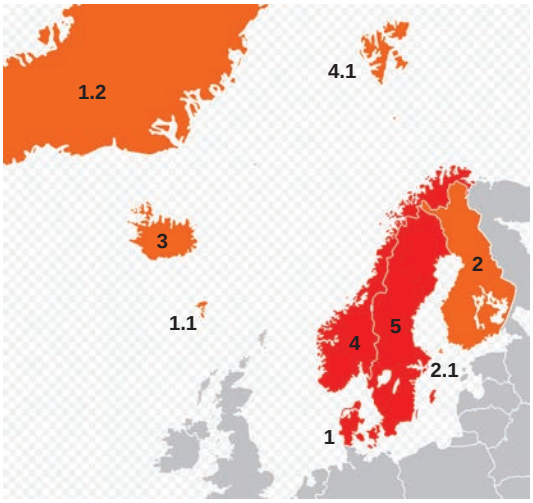
Az észak-európai országokat szabatosan háromféleképpen osztályozzák:

- **Geológiailag: Fennoszkandia,** aszerint, hogy alattuk a földkéreg **fennoszkandiai pajzsa** helyezkedik-e el; ide tartozik Norvégia, Svédország, Finnország, a Kola-félsziget és Karélia; a két utóbbi Oroszország része (1. ábra) [1].

1. ábra. **A fennoszkandiai pajzs országai [1]**

- **Az Északi országok (Nordic countries)** (2. ábra) [1]:
  1. Dánia
     1.1. Faroe-szigetek
     1.2. Grönland
  2. Finnország
     2.1. Åland-szigetek
  3. Izland
  4. Norvégia
     4.1. Svalbard (Spitzbergák)
  5. Svédország
- **A skandináv országok:** Dánia (1), Norvégia (4), Svédország (5) (2. ábra)

A nem kellően precíz, de elterjedt és gyakorlatias szóhasználat Finnországot (2) is ide sorolja [1].



2. ábra. **Az Északi országok és a skandináv országok [1]**

Az Északi országok fő jellemzői [1]:

Ország, külbirtok	Terület, km²	Lakosság, ezer fő	GDP nom.*, millió USD
1. Dánia	44 493	5 749	306 430
1.1. Faroe-szgk.	1 400	50	
1.2. Grönland	2 166 086	56	
2. Finnország	338 175	5 503	236 883
2.1. Åland-szgk.	1 580	29	
3. Izland	102 928	333	20 047
4. Norvégia	385 178	5 267	370 449
4.1. Svalbard	61 022	3	
5. Svédország	449 964	10 065	511 397
vö. Magyarország	93 030	9 818	124 300

*Az IMF 2016. évi adatai

Az 1670-1699 között uralkodott **V. Keresztély** dán király és felesége koronája. A királyi korona jelenlegi viselője 1972. január 12. óta **II. Margit királynő** (sz. 1940.04.16.) [2].

3. ábra. **A dán királyi koronák és II. Margit királynő [2]**

Dánia államformája: Kr. u. 965-től 1849-ig királyság, 1849-től alkotmányos monarchia.

4. ábra. **Dánia műholdképe [2]**

Dániát egy nagyobb félsziget (Jylland/Jütland), 6 nagy sziget (Észak-Jylland, Fyn/Funen, Sjælland/Zealand, Lolland, Falster, Bornholm) és 9995 kisebb sziget alkotja, ez utóbbiakból csak 70 lakott [2].

A tenger ülepítő-elsodró mozgása gyakran hoz létre és szüntet meg szigeteket.

A dán főváros, Koppenhága egyik legfontosabb épülete a **Christiansborg-palota:** a parlament (a Folketing), a miniszterelnökség és a Legfelsőbb Bíróság székhelye; vannak helyiségei a királyi családnak is (5. ábra) [2].

5. ábra. **A koppenhágai Christiansborg-palota [2]**

A királyi család téli szálláshelye, az **Amalienborg** négy egyforma barokk palotából álló épületegyüttese a Frigyes-templom kupolájából nézve (6. ábra) [3].

A nyolcszögletű tér közepén V. Frigyes király lovasszobra. Az Inderhavnen-csatorna túlpartján a 2005. január 15-én felavatott modern operaház [3].

6. ábra. **Az Amalienborg-palotaegyüttes [3]**

A dán gazdasági élet egyik központja, az 1620-25 között, IV. Keresztély uralkodása idején holland reneszánsz stílusban épült **Tőzsdepalota.** 56 m-es tornya négy, farkánál fogva összecsavart sárkányt formáz [3].

7. ábra. **A koppenhágai tőzsdepalota [3]**

Skandinávia legforgalmasabb repülőtere a koppenhágai **Kastrup** légikikötő. Területe 11,8 km^2. Két párhuzamos futópályája 3,6 és 3,3 km hosszú, az ezekre merőleges harmadik 2,8 km-es. 108 db be- és kiszálló utashídja és távoli parkolóállása van. Maximális műveleti kapacitása 83 fel- és leszállás óránként. 2014-től alkalmas az Airbus A 380 óriásgép fogadására és indítására (8. ábra) [4].

8. ábra. **A koppenhágai Kastrup légikikötő [4]**

Dánia legforgalmasabb XXI. századi kapuja a Koppenhága és Malmö közötti közúti és vasúti **Øresund-összeköttetés:** 1. A tengerfenékre süllyesztett, 4060 m hosszú Drogden-alagút. 2. A 4 km hosszú, 500 m széles Peberholm mesterséges sziget. 3. A 7845 m hosszú Øresund-híd. Az összhossz 15 895 m, ~16 km (9. ábra) [5].

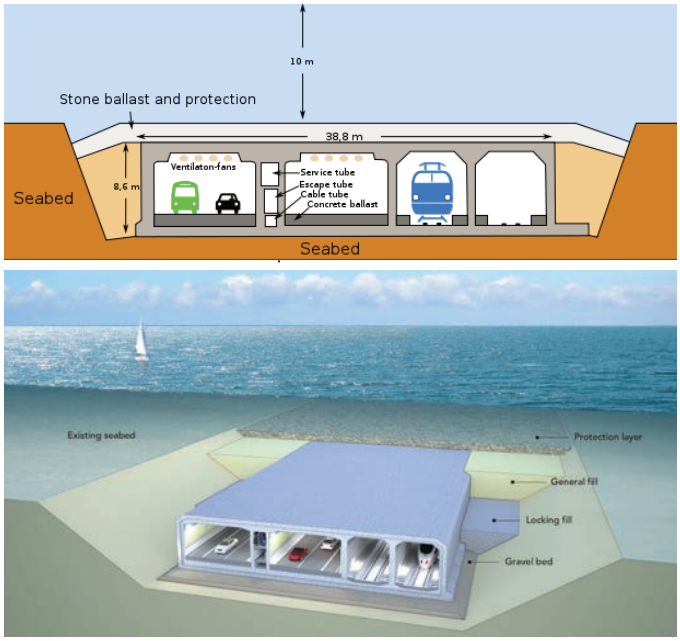
A dán oldalon azért építettek tengerfenékre süllyesztett alagutat, mert a szükségszerűen magas híd zavarta volna Kastrup forgalmát.

9. ábra. **Az Øresund-összeköttetés [5]**

A 4060 m hosszú **Drogden-alagút** mindkét végén 270 m-es bevezető szakasz található. A tenger alatti 3520 m-es középső rész 20 db, 176 m hosszú, 38,8 m széles, 8,6 m magas, 55 000 tonnás előre gyártott vasbeton szakaszból áll.

Az északkeleti (a 10. ábrán bal oldali) két alagútban fut a 2×2 sávos autópálya, köztük a keskeny szerviz-, menekülő és kábelalagút. A délnyugati (a 10. ábrán jobb oldali) két alagútban van a kétvágányú vasút.

A tengerfenékből kimarkolt trapéz alakú munkagödörbe lerakott kavicságyra süllyesztették le az előre gyártott alagútelemeket, visszatemették és tömörítették a rögzítő és az általános kőzetet, végül felúszás-gátló és védő sziklaréteget terítettek a tetejére.



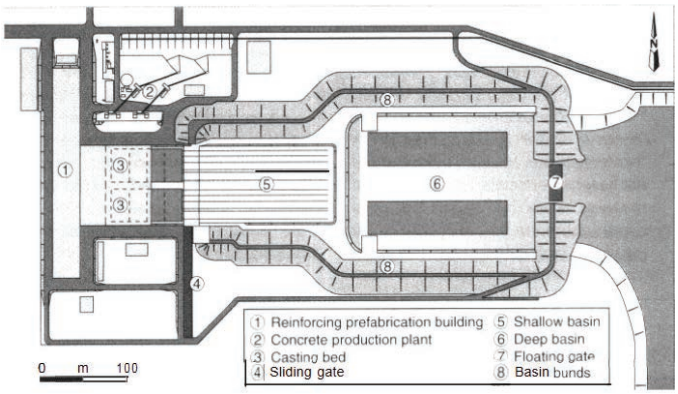
10. ábra. **A Drogden-alagút keresztszelvénye [6]**

A 10. ábra alsó képén: 1 – Meglévő tengerfenék, 2 – Kavicságy, 3 – Rögzítő visszatöltés, 4 – Általános visszatöltés, 5 – Védőréteg (pl. a lebocsátott hajóhorgonyoktól).

Az alagút felett mindössze 10 m mély a tenger.

A ~55 000 t tömegű, úszásképes vasbeton-alagútszakaszokat a Koppenhága északi kikötőjében létesített előre gyártó telepen (11. ábra) készítették, majd a végeket hermetikusan lezárva, úsztatva-vontatva juttatták a kijelölt helyszínre, ahol lesüllyesztették a tengerfenéken előkészített kavicságyra [6].

11. ábra. **Koppenhága északi kikötője, középen, bekeretezve az alagútszakaszok előre gyártó telepe [6]**



12. ábra. **A Drogden-alagút szakaszainak előre gyártó telepe [6]**

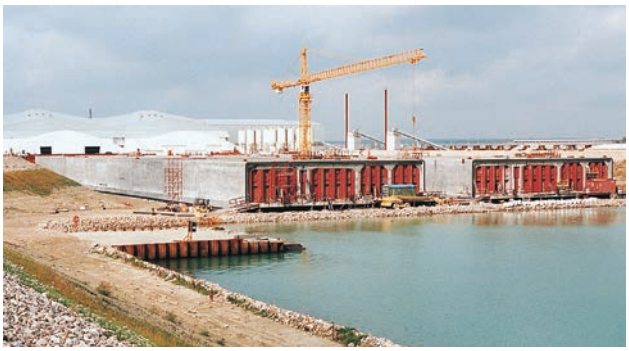
Az előre gyártó telepen (12. ábra) a 176 m-es alagútszakaszt 8 db 22 m-es, külön vasszerelt és betonozott szegmensből dolgozták össze [6].

1. Az alagútszakaszok betonacél-váz elemeit gyártó csarnok, tőle jobbra (szám nélkül) a 22 m hosszú szegmensek betonacél-vázát összeszerelő 2 db csarnok; innen kezdve két párhuzamos gyártóvonalon készültek az alagútszakaszok.
2. A 2 db, egyenként 90 m^3/h teljesítményű betonkeverő üzem.
3. A 22×38,8×8,6 m befoglaló méretű, 2700 m^3 betontérfogatú szegmensek bezsaluzott acélvázát e két csarnokban töltik ki betonnal, 30 óra alatt. A lassú feltöltés következtében a beton nem „ég meg". A rákövetkező 138 óra alatt a szegmens annyira megszilárdul, hogy ki lehet tolni a betonozó csarnokból az **5.** sekély medence gerendázatára. Így a ciklusidő 7 nap/22 m-es szegmens, azaz 8×7=56 nap (kb. 2 hónap)/176 m-es alagútszakasz. A 20 szakaszból álló alagút teljes előre gyártási ideje tehát 20 hónap volt.
5. Sekély medence, melynek 2×6 db csúsztató gerendájára 6-6 db 600 t nyomóerejű hidraulikával szilárdulás után rátolják a 22 m-es szegmenseket.
4. Amikor a 8-8 db szegmenst összedolgozva előállt a 2 db 176 m-es alagútszakasz (13. ábra) és végeiket hermetikusan lezárták, bezárják a **4.** tolókaput és a **7.** kijárati kaput, és a tenger felől feltöltik az **5.** sekély és a **6.** mély medencét, majd a két úszó alagútszakaszt áthúzzák a mély medencébe.
7. A kijárati kaput kinyitva a mély medence szintje azonossá válik a tengerével, és a két 176 m-es alagútszakasz kivontatható a mély medencéből és elindulhat a kijelölt és előkészített helyszínre.
8. Az **5.** sekély és a **6.** mély medence közös gátja [6].

13. ábra. **A készülő 176 m-es alagútszakasz az 5. sekély medence gerendázatán [6]**

Balra a két vasúti, jobbra a két közúti alagút szelvénye; ez utóbbiak között a szerviz-, menekülő és kábelalagút keskeny szelvénye. A gerendák pontosan a függőleges oldalfalak alá esnek, ezáltal nem terheli nyíróerő az alagútszakasz vasbeton padlózatát.

A **Drogden-alagút** egyszerre elkészült 2 db 176 m-es szakasza az **5.** sekély medence gerendázatán. Már beszerelték a hermetikusan lezáró szerkezeteket és körben a gumi homloktömítéseket. A **6.** mély medence vízszintje most még a tengerével azonos. A háttérben a **2.** betonkeverő telepek és a **3.** betonozó csarnokok (14. ábra) [6].



14. ábra. **2 db elkészült és hermetikusan lezárt 176 m-es alagútszakasz a sekély medence gerendázatán [6]**

Miután az alagútszakaszt kihúzták a **6.** mély medencéből, ráállítják a két pontonra támaszkodó leengedő-hidakat, és a vontatóhajók elindulnak a telepítés helyszínére.

Vontatóhajóból 4 db kell: 2 a húzásra, 2 a fékezésre, együttesen pedig a pontos pozícionálásra. Ideiglenesen ballasztvizet engedve az alagútszakasz belsejébe, lesüllyesztik a fenékre terített kavicságyra (15. ábra) [6].

15. ábra. **A 176 m-es alagútszakasz vontatása és leengedése a tengerfenéki kavicságyra [6]**

Az Øresund-összeköttetés középső szakasza a 4055 m hosszú, 1,3 km^2 területű **Peberholm mesterséges sziget,** mely fogadja a Drogden-alagutat és indítja az Øresund-hidat [7].

16. ábra. **A Peberholm mesterséges sziget [7]**

17. ábra. **A Peberholm-sziget északnyugati (alagúti) vége Koppenhága felől nézve [7]**

Jól látható a sziget teljes kerületének hullámerózió ellen védő kőrakása, svéd gránitból (17. ábra). A szigetet természetvédelmi területté nyilvánították, rajta sem a közúti, sem a vasúti forgalom nem áll meg. A közlekedésbiztonsági berendezések üzemeltetőin és a mentőkön, tűzoltókon kívül kizárólag azok a környezetvédelmi szakemberek léphetnek a területére, akik azt figyelik, hogy a természetes növény- és állatvilág hogyan veszi birtokba a mesterségesen létrehozott szárazföldet [7].

A távolban a kész Øresund-híd látható.

Az összeköttetés leglátványosabb szakasza a 7845 m összhosszúságú, kétszintes, felül közúti, alul vasúti híd, melynek eleje és vége 140 m pillérközű gerendahíd, középső, 490 m pilonközű, 65 m szabadmagasságú része kötélhíd [5].

18. ábra. **A 490 m támaszközű, 203,5 m magas pilonok üreges alaptestjeinek készítése szárazdokkban, majd úsztatva továbbításuk a helyszínre [5]**

A helyszínre érve a GPS-szel meghatározott pontokon az alaptesteket a 15 m mélyen lévő mészkőszikla-alapra lesüllyesztik és rögzítik.

19. ábra. **A pilonok lábainak betonozása csúszózsaluzással [5]**

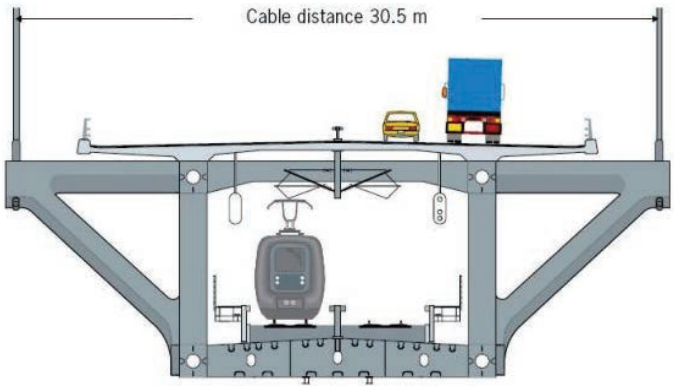
20. ábra. **A Svanen úszódaru beemeli a 140 m-es pályaszakaszt [5]**

Miközben a pilonlábak csúszózsalui és a lábakhoz kikötött önépítő toronydaruk egyre feljebb kúsznak, a 8000 t emelőképességű, 76 m emelőmagasságú, két pontonlábas Svanen úszódaru beemeli és a pilonlábakat összekötő gerendára és a rögzített pontonon álló ideiglenes rácsos állványra helyezi a 140 m-es pályaszakaszt.

A pilonlábaktól jobbra látható az úszó betongyár. A silókban tárolják a beton hozzávalóit: a cementet, a homokos kavicsot és az édesvizet. A kész betont alul üríthető tartályban viszi föl a toronydaru (20. ábra) [5].

21. ábra. **A Svanen rácsos emelőkeret segítségével emeli be a gerendahíd következő pályaszakaszát [5]**

22. ábra. **A 490 m-es legnagyobb támaszköz pályaszakaszait a pilonlábakon keresztülvezetett 10-10 db kettős acélkötél tartja; ezekből a képen láthatóan 5-5 db van már felszerelve [5]**



23. ábra. **A 490 m-es pilonközi pályaszakasz keresztmetszete. A 30,5 m a pilonkötelek síkjainak távolsága [5]**

A közúti pálya 2×2 sávos + leállósávos, a vasúti pálya kétvágányos (23. ábra).

A svéd vasút 15 kV, 16 2/3 Hz-en, a dán 25 kV, 50 Hz-en üzemel; a határ a svéd hídfő. A biztosítóberendezések a hídon svéd, a szigeten és az alagútban dán rendszerűek. A vasúti menetirány Malmőig a dán jobboldali, onnantól a svéd baloldali. A megengedett sebesség a hídon és a szigeten 200 km/h [5].

24. ábra. **Az Øresund-híd 490 m-es hajózó köze**

Teljesítménymérleg 2015. 03. 17-én:

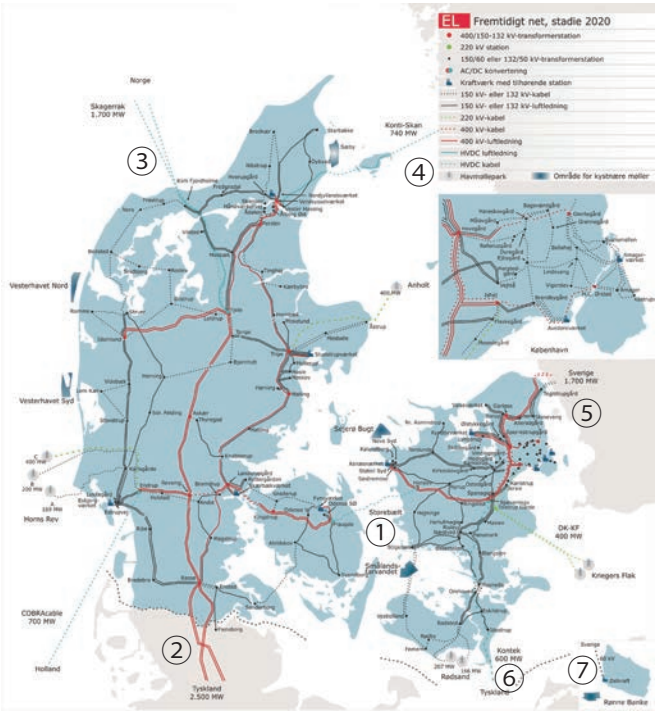
Központi hő- és helyi fűtőerőművek	1995 MW
Szélturbinák és napelemek:	**1383**+291=1674 MW
Csereteljesítmény (nettó **import)**	944 MW
Rendszerterhelés	4613 MW

Teljesítménymérleg 2016. 12. 01-én:

Központi hő- és helyi fűtőerőművek	1407 MW
Szélturbinák	**3360 MW**
Csereteljesítmény (nettó **export**)	–1730 MW
Rendszerterhelés	3037 MW

Azaz bő másfél év alatt egyrészt a szélturbinák teljesítménye közel 2,5-szeresére nőtt, a csereteljesítmény pedig 2674 MW-tal, importról exportra változott, másrészt a szélturbinák egyedül többet termeltek, mint a rendszerterhelés [9]!

Dánia nagyfeszültségű átviteli hálózata és nemzetközi HVDC kábeles és HVAC szabadvezetéki és kábeles összeköttetései [9]



25. ábra. **Dánia nagyfeszültségű átviteli hálózata [9]**

Dánia villamos energetikája

Az **Energinet.dk** dán átviteli rendszerirányító és -üzemeltető társaság 2017. évi jelentése szerint a dán villamosenergia-rendszer **2016. évi fő adatai** a következők [8]:

Elméleti beépített teljesítőképesség			Éves villamosenergia-termelés		
Forrás	**MW**	**%**	**Forrás**	**GWh**	**%**
Szél	5 251	41,9	Szél	12 782	44,2
Nap	851	6,8	Nap	744	2,6
Víz	7	0,0	Víz	19	0,1
Biogáz és -massza	1 614	12,9	Biogáz és -massza	3 509	12,1
Hulladék	351	2,8	Hulladék	1 377	4,8
Földgáz	2 148	17,1	Földgáz	2 366	8,2
Olaj	685	5,5	Olaj	169	0,6
Szén	1 604	12,8	Szén	7 964	27,4
Egyéb	25	0,2	Egyéb	0	0,0
Összesen	12 536	100,0	Összesen	28 930	100,0
			Nettó import	5 057	
			Fogyasztás	33 987	

Az 5 057 GWh nettó import 14 976 GWh tényleges import és 9 919 GWh tényleges export szaldójaként alakult ki.

A dán energiapolitika ambiciózus fő célkitűzése az, hogy 2020-ra a villamos energia 50%-át szél-, 30%-át nap- és biomassza-erőművek állítsák elő, 2035-re pedig villamos energiát csak megújuló forrásból, elsősorban szélerőművekkel termeljenek, és minél nagyobb mértékben használják ki Norvégia és Svédország víztározó-kapacitásait a szélmentes, illetve gyenge szelű és a viharos időszakok deficites üzemállapotainak áthidalására. Ehhez további HVDC összeköttetéseket és főleg offshore-szélparkokat terveznek telepíteni, tekintettel a Dánia körüli tengerek sekélységére [8].

A dán villamosenergia-rendszer fejlődésének irányát mutatja a következő két adatsor:

Dánia villamosenergia-rendszere földrajzi okokból kifolyólag két részből áll: Nyugat-Dánia (Jylland-félsziget, Fyn sziget stb.) alrendszere párhuzamosan jár a kontinentális Európa VERE-jével, míg Kelet-Dánia (Sjælland, Lolland, Falster stb.) alrendszere párhuzamosan jár a többi skandináv ország (Norvégia, Svédország, Finnország) Nordic (régebbi nevén NORDEL) VERE-jével, miközben a két VERE egymással aszinkron üzemel.

A Nyugat- és Kelet-Dánia között kapcsolatot teremtő **Storebælt** 400 kV-os, 600 MW-os HVDC-t csak 2010-ben helyezték üzembe **1** [9].

A cikk 2. részét az Energiagazdálkodás következő számában tesszük közzé.

Magyarország energiafelhasználásának etanol ekvivalens alapú elemzése

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

Kovács Emese
okl. környezetmérnök

Dr. Mika László Tamás, PhD
okl. vegyészmérnök; laszlo.t.mika@mail.bme.hu

Magyarország energiafelhasználásának környezeti fenntarthatósági vizsgálatát az etanol ekvivalens mint új környezeti fenntarthatósági mutató alapján végeztük el. Az etanol ekvivalens megadja azt a szükséges etanol mennyiséget, amely fedezi egy adott nyersanyagforrásból kinyerhető energiát, illetve azt az etanol mennyiséget, amely egy adott szén-alapú vegyület termelését fedezi moláris ekvivalencia alapján. A hazai kukorica alapú etanol előállítás hatékonyságát figyelembe véve definiálható egy tényleges etanol ekvivalens, amely tartalmazza az egységnyi bioetanol előállításra fordított energia mennyiségét bioetanolban kifejezve. A tényleges etanol ekvivalens használatával megállapítható a szükséges kukorica mennyisége és a termesztéshez szükséges földterület nagysága, vagyis egy földterület ekvivalens. A számítások Magyarország 2008-2015 közötti energiafelhasználását tartalmazzák, amelyekből a fogyasztási trendek alapján elvégezhető a terület alapú összehasonlítás a megvalósíthatóság demonstrálására.

A vizsgálat során világos kép kapható Magyarország energiaigényének fenntarthatóságáról, illetve arról, hogy amennyiben a fosszilis energia felhasználást kukoricakeményítő alapon előállított etanolból szeretnénk fedezni, akkor mekkora területet fedne le. Etanol ekvivalens alkalmazásával köznapi nyelven is értelmezhető egy ország energiafelhasználásának mértéke.

*

Environmental sustainability study on Hungary's energy consumptions was performed by the use of recently intruduced sustainability index, ethanol equivalent, which was defined as the mass of ethanol (expressed in kilogram, tons or million tons) needed to deliver the equivalent amount of energy from a given feedstock or produce the equivalent amount of mass of a carbon-based chemical using thermodynamic equivalency.

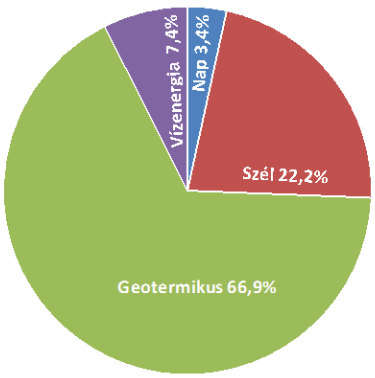
Taking into consideration the efficiency of the first-generation bio-ethanol production from corn, a real ethanol equivalent can be calculated, that includes the energy expressed in ethanol required for the production itself. By using the real ethanol equivalent, land requirements of the ethanol production can be assessed as well as providing a land equivalent. Calculations include Hungary's energy consumption between 2008-2015, show the trends, and finally results are expressed in land equivalents.

It was clearly demonstrated that the replacement of fossil resources by ethanol (even if both first and second generation ethanol would be used) is not sustainable during the period studied, because more land would be required to grow the corn than the current agricultural land. The application of ethanol equivalent provides an understandable sustainability assessment factor for a wide audience.

* * *

Magyarország energiafogyasztása

Magyarország 2015. évi energiafogyasztásának összetétele az alábbiak szerint alakult: 80,04%-a fosszilis, 16,66% nukleáris, valamint 3,30% megújuló forrásból származott [1]. Köztudott globális probléma a fosszilis alapú energiatermeléssel kapcsolatban az üvegházhatású gázok emissziója, illetve a rohamosan fogyatkozó és előrejelzések szerint bizonytalan idő múlva kimerülő kőolaj és földgáz készletek mennyiségének kérdése. Az energiafelhasználás fenntarthatóságának növelését az Európai Unió elsősorban a megújuló energiaforrások kiaknázásával célozza meg, amely források felhasználhatósága erősen függ a geográfiai, geológiai, illetve klimatológiai adottságoktól. Magyarország megújuló energiaforrásainak megoszlását tekintve legnagyobb potenciált a geotermikus- és a biomassza alapú energiatermelés jelenti. Amint azt az 1. ábra mutatja a vízenergia és napenergia hasznosítás mindössze 10%-ot tett ki, azonban a szélenergia már ennek a dupláját biztosította [1].



1. ábra. **Magyarország megújuló energiaforrásainak megoszlása 2015-ben [1]**

Magyarország a Kárpát-medencében, geodinamikailag egy extenziós medencében helyezkedik el, amelynek következménye az elvékonyodott litoszféra. Ez a geológiai adottság nagyobb geotermikus gradienst okoz a területen, amely lehetővé teszi a geotermikus energia hasznosítását. Emellett az elmúlt évtizedben a biomassza alapú energiatermelés részaránya szignifikánsan nőtt, amely elsősorban Magyarország mezőgazdasági berendezkedésének köszönhető, de jelentős részarányt jelentenek az élelmiszeripari és mezőgazdasági melléktermékek, anyagában már nem hasznosítható kommunális és ipari szerves anyag tartalmú hulladékok, és a szennyvíztisztító technológiák biomassza forrásai. A *Nemzeti Energiastratégia 2030* [2] szerint a primer energiafogyasztás megújuló részaránya a mai 7%-ról 2020-ig 14,65%-ra, 2030-ig kb. 20%-ra emelkedik majd Magyarországon. A nemzeti energiafüggetlenség elérésének ötödik sarokpontja a rugalmas váltás az élelmiszertermelés és energianövények termesztése között olyan területeken valósuljon meg, amelyeken már hatékonyan élelmiszer alapanyag nem termeszthető. Továbbá az ipari és a mezőgazdasági energiastruktúra átalakításának céljai közé tartozik az üvegházhatású gázok emissziójának csökkentése. Ennek megvalósításában fontos szerepet játszik, a biomassza ipari nyersanyagként történő felhasználása a gyógyszer- és finomvegyipari eljárásokban megfelelő biotechnológia alkalmazásával.

A British Petroleum (BP) évente megjelenő energiaelemzése millió tonna olaj ekvivalensben (mtoe) tárja elénk az évenkénti országokra lebontott aktuális adatokat. Amennyiben fenntarthatóságról beszélünk, a mtoe mérőszámként való alkalmazása szélesebb körben problémás lehet, hiszen a hétköznapi emberek számára nehezen értelmezhető ez a mértékegység. Ha egy háztartás, egy város, egy nemzet, vagy akár egy ipari termelő egység energiafogyasztásának környezeti fenntarthatóságát szeretnénk vizsgálni és közérthetően bemutatni, a nemrégiben bevezetett etanol ekvivalens egy sokkal megfoghatóbb eszközként szolgálhat ebben a feladatban. Az etanol ekvivalens megadja azt a szükséges etanol mennyiséget, amely fedezi egy adott nyersanyagforrásból kinyerhető energiát, illetve vegyi anyagokra vonatkozóan annak az etanolnak a mennyiségét, amely egy adott szén-alapú vegyület bioetanol alapú termelését moláris ekvivalencia alapján képes fedezni [3]. Amennyiben feltételezzük, hogy adott fosszilis energia fedezéséhez szükséges etanol mennyiséget kukorica keményítő alapú bioetanol gyártással fedezzük, akkor az energiafogyasztást kifejezhetjük a szükséges termőterület nagyságával, ami hétköznapi értelemben látványosabb, ezáltal közérthetőbb információt szolgáltat.

Definiálható egy tényleges etanol ekvivalens, amely tartalmazza a bioetanol előállításhoz szükséges befektetett energia mennyiségét is, azaz a technológia hatékonyságát (Energy Return on Ethanol = ERoE). Az ERoE megmutatja, hogy egy egység energiabefektetéssel (amit egy fenntartható világban szintén bioetanolból fedezünk) a 2008-as referencia évre vonatkozó ipari méretű etanol előállítási technológiát alapul véve 2,3 egység bioetanol állítható elő [4]. A tényleges etanol ekvivalens ($EE_{2,3}$) használatával megállapítható a szükséges kukorica mennyisége és a termesztéshez szükséges földterület nagysága. Az etanol előállításának energiahatékonysága növelhető, ha a kukoricaszárat energetikailag hasznosítjuk, vagy a kukorica termesztéshez, aratáshoz fosszilis energia befektetés helyett, más megújuló energiaforrást alkalmazunk. Számítások szerint a hatékonyság növelésével az ERoE 4,1 vagy akár az 5,7-es értéket is elérheti [5]. A Renewable Fuels Association 2016-os kiadványa szerint az elméleti értékeket a valóság megközelítette, és ERoE = 4 etanol előállítási hatékonysággal számolhatunk [6]. Magyarországi kukorica alapon történő etanol előállítás hatékonyságát és hozamát vizsgálva a különböző források nagyságrendileg hasonló értékeket közölnek. Ezeket az 1. táblázatban foglaltuk össze. Némely forrás liter etanol/tonna kukorica mértékegységben számol, mások pedig a hektáronkénti etanol hozamokat adják meg. Ezek összehasonlításához azonban szükséges a hektáronként betakarított kukorica termés mennyisége is. 2008–2015 közötti kukorica terméshozamok átlagát a Központi Statisztikai Hivatal [7] által közölt értékek alapján számoltuk, amelynek értéke 6,237 t/ha-nak adódott.

1. táblázat. Kukorica alapú etanol termelés hozamai (a dőlttel jelölt adatok az eredeti publikációkból vett értékek)

Generáció	Alapanyag	Etanol hozam [l/t kukorica]	Etanol hozam [t/t kukorica]	Etanol hozam [l/ha]	Ref.
Első	Kukoricamag	*425*	0,335	2651	[8]
Első	Kukoricamag	*477*	0,376	2975	[9]
Első	Kukoricamag	*450*	0,355	2807	[10]
Első[a]	**Kukoricamag**	**561**	**0,442**	***3500***	**[11][12]***
Másod[a]	**Kukoricaszár**	**88**	**0,069**	***650***	**[11]**
Első[a] + Másod[a]	**Mag+szár**	**649**	**0,511**	**4150**	

* USA hibrid kukoricafajta esetén is érvényes

A másodgenerációs, azaz lignocellulóz alapú etanol termeléshez a kukorica növény szárát használják fel. Figyelembe véve, hogy a kukoricatermés a növény 45,9 tömeg%-át teszi ki [13], a növény szára és termése együttesen 13,59 tonnát jelent hektáronként, azaz a kukoriszár mennyisége 7,351 t/ha értékkel számolható.

Magyarország fosszilis energia felhasználásának etanol ekvivalens számítása

A számítás bemenő adatait a BP 2016 évben kiadott jelentése [1] szolgáltatta, ami alapján a 2015. évre vonatkozóan összegeztük a fosszilis alapú energiafelhasználást (kőolaj, földgáz, szén) mtoe-ben, majd az összesített adatot átváltottuk Joule-ra a következőképpen:

$$7{,}0 \text{ mtoe kőolaj} + 8{,}0 \text{ mtoe földgáz} + 2{,}2 \text{ mtoe szén} = 17{,}2 \text{ mtoe} \quad (1)$$

$$1 \text{ mtoe} = 42 \times 10^{-3} \text{ exajoule (EJ) [1]} \quad (2)$$

$$17{,}2 \text{ mtoe} \times 42 \times 10^{-3} \text{ EJ} = 0{,}723 \text{ EJ} \quad (3)$$

$$0{,}723 \text{ EJ} \times 10^{18} \text{ J/EJ} = 0{,}723 \times 10^{18} \text{ J} \quad (4)$$

A számítás a fosszilis energiafelhasználás kiváltásához szükséges etanol mennyiség meghatározásával folytatódik, amelyhez 1 hordó etanol energiája *Energy Information Administration, EIA* [14] adatai alapján adható meg:

$$1 \text{ hordó etanol} = 3{,}56 \text{ millió BTU} \quad (5)$$

$$1 \text{ BTU} = 1055 \text{ J} \quad (6)$$

$$1 \text{ hordó etanol} = 3{,}56 \times 10^{6} \text{ BTU} \times 1055 \text{ J/BTU} = 3{,}756 \times 10^{9} \text{ J} \quad (7)$$

$$0{,}723 \times 1018 \text{ J} \div 3{,}756 \times 10^{9} \text{ J/hordó} = 192 \text{ millió hordó etanol} \quad (8)$$

$$1 \text{ hordó} = 159 \text{ l} \quad (9)$$

$$1{,}92 \times 10^{8} \text{ hordó} \times 159 \text{ l/hordó} = 30{,}6 \times 10^{9} \text{ l etanol} \quad (10)$$

$$30{,}6 \times 10^{9} \text{ l} \div 1000 \text{ l/m}^3 = 30{,}6 \times 10^{6} \text{ m}^3 \quad (11)$$

Az etanol sűrűsége J. G. Speight [15] nyomán:

$$\rho_{etanol} = 789 \text{ kg/m}^3 \quad (12)$$

$$30{,}6 \times 10^{6} \text{ m}^3 \times 789 \text{ kg/m}^3 = 24{,}1 \times 10^{9} \text{ kg etanol} \quad (13)$$

$$21{,}1 \times 10^{9} \text{ kg} \div 1000 \text{ kg/t} = 24{,}1 \times 10^{6} \text{ t etanol} \quad (14)$$

A fosszilis energia kiváltásához szükséges kukoricamennyiség és termőterület elsőgenerációs etanol termelés esetén

A kukoricamag és termőterület meghatározásakor az 1. táblázat vastagon szedett értékeit használtuk fel. 24,1 millió tonna etanol

előállításához szükséges kukoricatermés mennyiség 0,442 t etanol/t kukorica [11-12] hozamot figyelembe véve, amennyiben a kukoricaszár nem kerül felhasználásra:

$$24{,}1 \times 10^6 \text{ t etanol} \div 0{,}442 \text{ (t etanol/t kukoricamag)} = 54{,}5 \times 10^6 \text{ t kukoricamag} \quad (15)$$

Kizárólag elsőgenerációs etanol termelést feltételezve, a szükséges termőterület nagysága a (16) egyenlet alapján számolható:

$$30{,}6 \times 10^9 \text{ l etanol} \div 3500 \text{ (l etanol/ha)} = 8{,}7 \times 10^6 \text{ ha termőterület} \quad (16)$$

azaz 8,7 millió hektár.

Szükséges kukoricamennyiség és termőterület első- és másodgenerációs etanol együttes előállítása esetén

Abban az esetben, ha ugyanarról a területről származó kukoricaszár is feldolgozásra kerül a 3500 liter etanolon felül további 650 liter etanol nyerhető, amely összesen 4150 liter (4,15 m^3) etanolt eredményez hektáronként (Lásd 1. táblázat utolsó sora), amely 3,27 tonna etanol/hektár produktivitásnak felel meg.

$$4{,}15 \text{ (m}^3 \text{ etanol/ha)} \times 789 \text{ kg/m}^3 = 32774{,}35 \text{ (kg etanol/ha)} \quad (17)$$

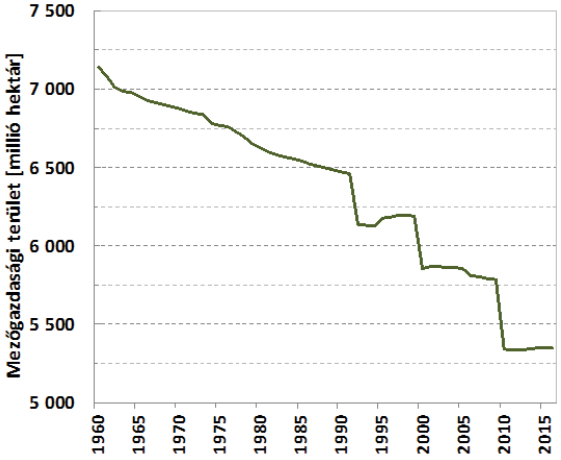
$$3274{,}35 \text{ (kg etanol/ha)} \div 1000 \text{ kg/t} = 3{,}27 \text{ (t etanol/ha)} \quad (18)$$

Tehát, ha az etanol előállításához a kukoricaszárat is felhasználjuk, a szükséges termőterület nagysága:

$$30{,}6 \times 10^9 \text{ l etanol} \div 4150 \text{ (l etanol/ha)} = 7{,}4 \times 10^6 \text{ ha termőterület} \quad (19)$$

azaz 7,4 millió hektárra csökken.

A kukoricaszár felhasználásával és első- és másodgenerációs etanol együttes előállításával megspórolható 1,3 millió ha termőterület, azonban Magyarország mezőgazdasági művelésbe vont területe az 1960-as évektől kezdve folyamatos csökkenést mutat és 2010-től vizsgálva egy közel állandó, 5,35 millió hektáros értéket képvisel (2. ábra). Egyértelműen látható, hogy az etanol ekvivalenshez tartozó 8,7, valamint kedvezőbb esetben 7,4 millió hektáros területigény másfélszerese az aktuális értéknek [7], ami alapján egyértelműen kijelenthető, hogy Magyarország 2015. évi fosszilis energiaigénye etanol alapon nem fedezhető.



2. ábra. **Magyarország mezőgazdasági területének változása 1960-2016 között [7]**

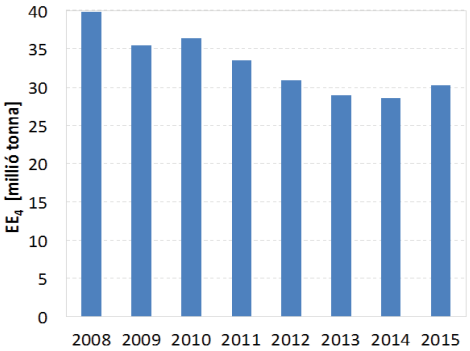
Tényleges etanol ekvivalens számítása

A tényleges etanol ekvivalens (aktuálisan EE_4) kiszámítására azért van szükség, hogy egy környezetileg fenntarthatónak definiált világban az etanol előállításához szükséges energiát is etanolból tudjuk fedezni. A tényleges etanol ekvivalens 2016-ban publikált előállítási hatékonysága ERoE = 4, azaz egy egység bioetanol befektetésével négy egység bioetanol nyerhető [6].

$$24{,}1 \text{ millió t etanol} \times 1/4 = 6{,}0 \text{ millió t etanol input} \quad (20)$$

$$6{,}0 \text{ millió t etanol input} + 24{,}1 \text{ millió t output etanol} = 30{,}1 \text{ millió t összes etanol} \quad (21)$$

Magyarország fosszilis energia kiváltásához szükséges tényleges etanol ekvivalens mennyiségek alakulását a 3. ábra mutatja be. Annak ellenére, hogy a megtermelt etanol mennyisége az elmúlt években folyamatosan növekedett és 2016-ban elérte 0,487 millió tonnát, ez csak töredék része a fosszilis energia kiváltásához szükséges etanol mennyiségének még akkor is, ha a hatékonynak mondott ERoE = 4-es technológiával számolunk.



3. ábra. **Magyarország fosszilis energia kiváltásához szükséges tényleges etanol ekvivalens (EE_4) mennyiségének alakulása 2008-2015 között**

Első- és másod generációs etanol megoszlása EE_4 alapján

Az első-, és másodgenerációs etanol produktivitások, illetve Magyarország átlagos terméshozama alapján kiszámítható az első és másodgenerációs etanol mennyiségek aránya. A számítás során figyelembe kell venni, hogy a termés a növény egészéhez viszonyítva, annak 45,9 tömegszázalékát teszi ki [13].

$$\text{teljes növény} = 6{,}237 \text{ t/ha} \div 0{,}459 = 13{,}59 \text{ t/ha} \quad (22)$$

$$\text{kukorica szár} = 13{,}59 \text{ t/ha} - 6{,}237 \text{ t/ha} = 7{,}351 \text{ t/ha} \quad (23)$$

$$\text{összes etanol} = 4150 \text{ l/ha} \quad (24)$$

$$3500 \text{ liter} \div 4150 \text{ liter} = 0{,}843 = 84{,}3\% \quad (25)$$

$$650 \text{ liter} \div 4150 \text{ liter} = 0{,}157 = 15{,}7\% \quad (26)$$

Vagyis a kukorica magból előállított etanol az összes hektáronkénti etanol termelés 84,3%-át jelenti, a maradék 15,7% pedig másodgenerációs etanolból származik.

Az arányok megállapítása után a szükséges az elsőgenerációs etanol fedezéséhez szükséges termés területigénye az EE_4-hez (30,1 millió tonna tényleges etanol mennyiséghez) a következők szerint számítható:

$$30{,}1 \text{ millió tonna etanol} \times 0{,}843 = 25{,}37 \text{ millió tonna etanol} \quad (27)$$

$$25{,}37 \text{ millió tonna etanol} \div 0{,}789 \text{ t/m}^3 = 32{,}16 \text{ millió m}^3 \text{ etanol} \quad (28)$$

$$32{,}16 \text{ millió m}^3 \text{ etanol} \div 0{,}65 \text{ m}^3\text{/ha} = 9{,}19 \text{ millió ha} \quad (29)$$

A másodgenerációs etanol előállításhoz szükséges kukoricaszár területigénye:

$$30{,}1 \text{ millió tonna etanol} \times 0{,}157 = 4{,}73 \text{ millió tonna etanol} \quad (30)$$

$$4{,}73 \text{ millió tonna etanol} \div 0{,}789 \text{ t/m}^3 = 5{,}99 \text{ millió m}^3 \text{ etanol} \quad (31)$$

$$5{,}99 \text{ millió m}^3 \text{ etanol} \div 0{,}65 \text{ m}^3\text{/ha} = 9{,}21 \text{ millió ha} \quad (32)$$

Az első- és másod generációs etanol területigény-számításából azonos eredményt vártunk; a számítás hibája 9,21 millió ha –9,19 millió ha = 0,02 millió ha.

2. táblázat. Tényleges (EE_4) kukoricatermés (kukoricamag) mennyisége az 1. és 2. esetben

1. eset	M.e.	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Teljes kukoricatermelés	millió tonna	105,4	93,7	96,3	88,6	81,7	76,3	75,7	80,1
2. eset	M. e.	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Teljes kukoricatermelés	millió tonna	75,6	67,2	69,0	63,5	58,6	54,7	54,3	57,5

Tényleges etanol ekvivalens előállításához szükséges kukoricamennyiség

A megvalósíthatóság tekintetében fontos kérdés, hogy mekkora mennyiségű kukoricát szükséges megtermelni a tényleges etanol mennyiség előállításához, illetve ezt a mennyiségű kukoricát mekkora földterületen lehet termeszteni. A kérdés megválaszolásához számos paraméter figyelembe vétele szükséges. Az értéket a geográfiai adottságokon kívül befolyásolja pl. a termesztett kukorica génösszetétele (hibridek), a műtrágya rendelkezésre állása, annak tápanyagtartalma és aránya, a betakarítás időpontja, az etanol előállításához alkalmazott technológia stb. Ezen túl további fontos tényező, hogy első-, vagy másodgenerációs biomassza kerül feldolgozásra, azaz a bioetanol esetében csak a kukoricatermés, vagy a kukorica szára is feldolgozásra kerül-e, illetve mindkettőt fermentálják egy adott ültetvényről. Utóbbi esetet feltételezve a kukoricaszár felhasználása nem jelent további termőterület többletet, sőt ezáltal csökken a szükséges terület nagysága.

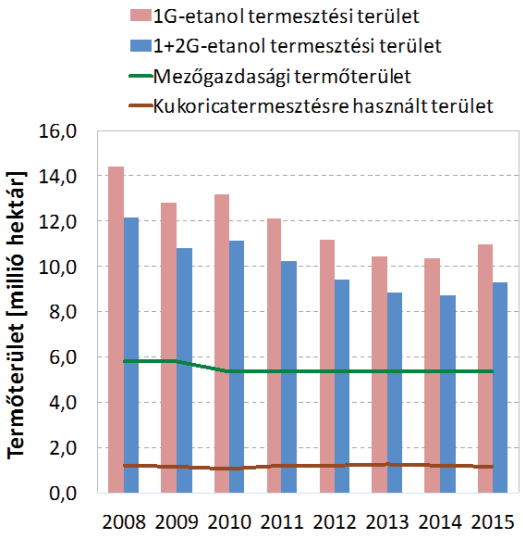
Ahhoz, hogy szemléletes legyen a kukoricaszár feldolgozásba vonásának jelentősége, a 2. táblázatban foglaltuk össze a szükséges kukoricamag mennyiségét a következő két esetben:

- **1. eset:** elsőgenerációs etanol termelés, amelyben csak kukoricamag kerül felhasználásra (keményítő alapú etanol termelés);
- **2. eset:** első- és másodgenerációs etanol termelés, amelyben a kukoricamag és a kukoricaszár egyaránt felhasználásra kerül (keményítő és cellulóz alapú etanol termelés).

A 2. táblázatban megjelenített eredmények a teljes EE_4 tényleges etanol ekvivalensből számított kukoricamennyiségeket tartalmazzák.

Tényleges etanol ekvivalens előállításához szükséges termőterület

Ha Magyarország fosszilis energia kiváltásához szükséges termőterületét vizsgáljuk, akkor alapvetően két eset különböztethető meg: 1. esetben feltételezzük, hogy az etanol előállítása csak és kizárólag első generációs (1G) etanol gyártással valósítjuk meg; 2. esetben pedig első- és másodgenerációs etanol előállítással számolunk, amely a kukoricaszár lignocellulóz tartalmának felhasználását is magában foglalja. Az adott évekre vonatkozó adatokat Magyarország adott évhez tartozó mezőgazdasági termőterületével, illetve a kukorica termőterületével összehasonlítva láthatjuk, hogy a fosszilis energia etanollal történő kiváltása messze meghaladja a jelenleg használt mezőgazdasági területek nagyságát (4. ábra). Jelen adatokból arra következtethetünk, hogy a megújuló energiaforrások részarányának növelése az össz energiafogyasztásba mindenképpen indokolt.



4. ábra. **Magyarország fosszilis energia kiváltásához szükséges termőterület igény összehasonlítása a mezőgazdasági és kifejezetten kukorica termesztésre használt területek nagyságával 2008–2015 között**

Vízigény számítása

A környezeti fenntarthatósági vizsgálatoknál kulcskérdés, hogy mindezek megvalósításához mennyi édesvíz szükséges, és ennek fedezete rendelkezésre áll-e. Mivel a kukorica növény növekedése valójában biomassza szintézis, az ennek alapját képező fotoszintézis vízigényét kell megvizsgálnunk. Mivel a kukorica keményítő és a lignocellulóz építőkövét alkotó ($C_6H_{12}O_6$) szénhidrát egység biotechnológiai úton történő fermentációja során nyerjük az etanolt, a két lépést együttesen vizsgáljuk. A (33) és (34) egyenletekből látható, hogy 6 mol víz szükséges 2 mol etanol előállításához.

$$6\,CO_2 + 6\,H_2O \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 6\,O_2 \text{ (fotoszintézis)} \quad (33)$$

$$C_6H_{12}O_6 + 6\,O_2 \rightarrow 2\,CH_3CH_2OH + 2\,CO_2 \text{ (fermentáció)} \quad (34)$$

Mivel a reakciók sztöchimetrikusak, szükséges a tényleges etanol ekvivalens értékének kmolba történő átszámítása, majd a kapott érték hárommal történő felszorzása.

$$24{,}1 \text{ millió t etanol} \times 1000 \text{ kg/t} \div 46 \text{ kg/kmol} = \\ = 523{,}9 \text{ millió kmol etanol} \quad (35)$$

$$3 \times 523{,}9 \text{ millió kmol etanol} = 1571{,}7 \text{ millió kmol víz} \quad (36)$$

$$1{,}57 \times 10^9 \text{ kmol} \times 18 \text{ kg/kmol} = 28{,}26 \times 10^9 \text{ kg víz} \quad (37)$$

$$28{,}26 \times 10^9 \text{ kg víz} = 28{,}26 \times 10^6 \text{ t víz} \quad (38)$$

$$28{,}26 \times 10^9 \text{ kg víz} \div 998 \text{ kg/m}^3 \text{ (20 °C-on)} = \\ = 28{,}3 \times 106 \text{ m}^3 \text{ víz} \quad (39)$$

$$28{,}3 \times 106 \text{ m}^3 \text{ víz} = 0{,}0283 \text{ km}^3 \text{ víz} \quad (40)$$

3. táblázat. A tényleges etanol ekvivalens (EE_4) kukorica mennyiségének fotoszintézishez szükséges vízmennyisége feltételezve, hogy a kukoricatermés mellett a kukoricaszár is felhasználásra kerül (2. eset)

	M.e.	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Szükséges vízmennyiség (EE)	m^3	37	33	34	31	29	27	27	28
Szükséges többlet	m^3	9	8	9	8	7	7	7	7
Teljes vízmennyiség (EE_4)	m^3	46	41	43	39	36	34	34	35

Tehát a 2015-ös évre vonatkozóan 35 millió m^3 víz lenne szükséges ahhoz, hogy a kukorica növény saját sejtanyagát felépítse (3. táblázat). Összehasonlításképp a Balaton átlagos vízmennyisége kb. 2 km^3 [16], a Magyarországra jutó átlagos éves csapadékmennyiség 56,9 km^3 [17], az évi megújuló vízmennyiség pedig 116,4 km^3 [18]. Természetesen az a kijelentés, miszerint az éves csapadékmennyiség kielégíti a termesztett kukorica vízigényét és a víz nem limitáló tényező a kukoricatermesztésben csak abban az elméleti esetben igaz, ha nem vesszük figyelembe a csapadék éves, szezonális és területi eloszlását.

Betakarításkor szükséges víztartalom

A kukoricanövény felépítéséből kifolyólag további víztartalommal rendelkezik, amelynek kiszámításához először a növény tömegére van szükség. A mag, amelyet az első generációs etanol előállításra használunk irodalmi adatok szerint a növény 45,9 tömeg%-át teszi ki [13].

$$45{,}98 \times 10^6 \text{ t kukoricamag} \div 45{,}9\% = \\ = 100{,}16 \times 10^6 \text{ t kukoricanövény} \quad (41)$$

A kukoricanövény víztartalma elérheti a 72,6%-ot [19], így a becsült víz-száraz anyag tömegarány:

$$\text{víz} \div \text{száraz anyag} = 72{,}6\% \div 27{,}4\% = 2{,}65 \text{ növényenként} \quad (42)$$

$$100{,}16 \times 10^6 \text{ tonna kukoricanövény} \times 2{,}65 = \\ = 265 \times 10^6 \text{ tonna víz} \quad (43)$$

$$265 \times 10^6 \text{ tonna víz} = 265 \times 10^9 \text{ kg víz} \quad (44)$$

$$265 \times 10^9 \text{ kg víz} \div 998 \text{ kg/m}^3 = 265 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ víz} \quad (45)$$

$$265 \times 10^9 \text{ m}^3 \text{ víz} = 0{,}27 \text{ km}^3 \text{ víz} \quad (46)$$

A számított 0,27 km^3 vizet a kukoricanövény nagyrészt az éves csapadékmennyiségből fedezi, de látható, hogy a növény betakarításkori víztartalma egy nagyságrenddel több vizet képvisel, mint a fotoszintézishez szükséges vízmennyiség. A keményítő feldolgozása és fermentációja során fellépő vízigényeket jelen számításban nem tárgyaljuk, ugyanis ezek a jól kiforrott technológiához tartoznak. Összességében azt mondhatjuk, hogy Magyarország kedvező megújuló vízellátottságának, valamint az éves csapadékmennyiségnek köszönhetően, a víz nem limitáló tényező a bioetanol előállítása során.

Összefoglalás

Tanulmányunk rávilágított arra, hogy Magyarország teljes fosszilis energiaigényét etanolból fedezni teljességgel lehetetlen, hiszen ha csak elsőgenerációs etanoltermelést tekintünk 8,7 millió hektár termőterületre lenne szükség, amely habár kisebb, mint az ország területe, de mezőgazdasági termőterületnél 1,6-szer nagyobb. Amennyiben első- és másodgenerációs etanol előállítást egyaránt alkalmazunk, vagyis a kukoricaszárat alkotó lignocellulózt is felhasználjuk etanol előállításra, összességében kevesebb termőterületre van szükség, de ez még mindig jóval meghaladja a jelenleg összes mezőgazdasági termelésbe bevont területet. Amennyiben az etanol ekvivalens fedezéséhez szükséges édesvíz mennyiségét vesszük górcső alá, azt találjuk, hogy a Kárpát-medence kedvező geográfiai helyzete miatt kialakuló vízkészkészletek, valamint az éves csapadék mennyisége bőven fedezi a kukorica növény termesztéséhez (fotoszintézis+a növény víztartalma) szükséges össz vízmennyiséget. Tanulmányunkkal rámutattunk arra, hogy az etanol ekvivalens számítás alkalmas arra, hogy hétköznapi nyelvre lefordíthatóan értékelni tudjuk egy ország energiafogyasztását. Környezeti fenntarthatósági szempontból rámutattunk arra is, hogy habár a nemzeti összes fosszilis energiafogyasztás csökken, ennek teljes egésze nem váltható ki a biomassza alapon előállított etanol energiájával. Ezen következtetésünk is igazolja, hogy a biomassza más irányú felhasználást kell előtérbe helyezni (pl. kis volumenű vegyipari alapanyag gyártás esetén fosszilis energiahordozók kiváltására).

Amennyiben a fosszilis energiahordozók felhasznált mennyiségét szeretnénk csökkenteni, és eleget akarunk tenni a Nemzeti Energiastratégiában megfogalmazott cselekvési tervnek, a primer energiafelhasználásban célszerű növelni megújuló energiaforrások (pl. nap-, szél-, geotermikus- vagy vízenergia) és nukleáris energia részarányát.

Köszönetnyilvánítás

Dr. Cséfalvay Edit köszönetet mond a Magyar Tudományos Akadémiának a Bolyai János ösztöndíj és a Bolyai + ösztöndíj támogatásáért, valamint Prof. Dr. Horváth István Tamásnak a szakmai diszkusszióért. A munka a BME VBK FIKP Biotechnológia Program támogatásával valósult meg.

Irodalomjegyzék

[1] BP Statistical Review of World Energy 2016 workbook, https://www.bp.com/content/dam/bp/excel/energy-economics/statistical-review-2016/bp-statistical-review-of-world-energy-2016-workbook.xlsx

[2] Nemzeti Fejlesztési Minisztérium - Nemzeti Energia Stratégia 2030, 2012, http://2010-2014.kormany.hu/download/4/f8/70000/Nemzeti%20Energiastrat%C3%A9gia%202030%20teljes%20v%C3%A1ltozat.pdf

[3] Cséfalvay, E.; Akien, G.R.; Qi, L.; Horváth, I.T. Definition and application of ethanol equivalent: Sustainability performance metrics for biomass conversion to carbon-based fuels and chemicals, Catal. Today, 239, 2015, 50-55.

[4] H. Shapouri, P.W. Gallagher, W. Nefstead, R. Schwartz, S. Noe, R. Conway, in: Energy Balance for the Corn-Ethanol Industry, USDA, 2008, Agricultural Economic Report Number 846 June 2010.

[5] P.W. Gallagher, W.C. Yee, H.S. Baumes, in: 2015 Energy Balance for the Corn-Ethanol Industry, USDA, 2016.

[6] Renewable Fuels Association – RFA, Re-examining Corn Ethanol's Energy Balance Ratio, March 2016, http://www.ethanolrfa.org/wp-content/uploads/2016/03/Re-examining-Corn-Ethanols-Energy-Balance.pdf

[7] Központi Statisztikai Hivatal, KSH - A mezőgazdaság főbb adatai (1960–), http://www.ksh.hu/docs/hun/xstadat/xstadat_hosszu/h_omf001a.html

[8] Bánszki L.; Rátonyi T.; Harsányi E. Bioetanol előállítás energetikai értékelése, Agrártudományi Közlemények, 2013/51., 77-80.

[9] http://www.chemicals-technology.com/projects/pannonia-bioethanol/

[10] http://www.pannoniaethanol.com/products

[11] Balla Z. A biomassza alapú etanol előállítás fejlesztésének lehetőségei, a keményítő és cellulóz alapú bioetanol gyártás vonatkozásában, Agrártudományi Közlemények, 2013/51., 71-75.

[12] Groode T. A.–Heywood J. B. (2008): Biomass to Ethanol: Potential Production and Environmental Impacts. February 2008. IFEE 2008-02 rP Massachusetts Institute of Technology. http://lfee.mit.edu/publications/reports

[13] L. O. Pordesimo, W. C. Edens, and S. Sokhansanj, Distribution of aboveground biomass in corn stover, Biomass and Bioenergy, 26, 2004, 337-343.

[14] U.S. Energy Information Administration, IEA, Approximate Heat Content of Petroleum Consumption and Fuel Ethanol, https://www.eia.gov/totalenergy/data/monthly/pdf/sec13_3.pdf

[15] J. G. Speight, Lange's Handbook of Chemistry, 16th Edition, 2005, New York: McGraw-Hill

[16] Közép-dunántúli Vízügyi Igazgatóság – Balaton http://www.kdtvizig.hu/hu/53ab9177-7e15-44eb-a7f3-c004010c2277

[17] Központi Statisztikai Hivatal, KSH – A meteorológiai megfigyelőállomások főbb adatai (1985–), http://www.ksh.hu/docs/hun/xstadat/xstadat_eves/i_met002c.html

[18] The World's Water, Total Renewable Freshwater Supply, by Country (2013 Update), http://worldwater.org/wp-content/uploads/2013/07/ww8-table1.pdf

[19] C. Igathinathane, Womac, A.R., Sokhansanj, S., Pordesimo, L.O. Mass and moisture distribution in aboveground of standing corn plants, Trans. ASABE, 49, 2006, 97-106

SAJTÓKÖZLEMÉNY

Az atomenergia is segít mérsékelni az éghajlatváltozás hatásait

A magyar álláspont szerint valamennyi alacsony szén-dioxid-kibocsátású energiaforrás alkalmazására szükség van, mivel csak a kellőképpen változatos energiamix lesz képes lépést tartani a megbízható, megfizethető és tiszta villamos energia iránti növekvő kereslettel – mondta Kádár Andrea Beatrix, az Innovációs és Technológiai Minisztérium helyettes államtitkára a Nemzetközi Atomenergia Ügynökség (NAÜ) 62. közgyűlésén Bécsben.

Az energetikáért felelős helyettes államtitkár felszólalásában hangsúlyozta: a NAÜ nélkülözhetetlen erőfeszítései hatékony segítséget jelentenek az országoknak az atomenergia éghajlatváltozás hatásainak mérséklését szolgáló, békés célú alkalmazásában.

Kádár Andrea jelezte: A magyar kormány hosszú távon számol az atomenergiával, a Paksi Atomerőmű jelenlegi blokkjai már megkapták a 20 éves továbbműködéshez szükséges hatósági engedélyeket. Emlékeztetett továbbá, hogy a kitartó fejlesztői munkának köszönhetően sikerrel zárult az atomerőmű átállása, aminek eredményeként a VVER-440-es reaktorokkal működő paksi létesítmény a világon egyedüliként üzemel 15 hónapos üzemanyagciklussal. A helyettes államtitkár emellett köszönetet mondott a NAÜ által a Paks II projekt megvalósításához biztosított szakmai támogatásért.

A helyettes államtitkár hozzátette, Magyarország elkötelezettségét a nemzetközi követelményeknek való megfelelés iránt többek között az is bizonyítja, hogy kormányzati kezdeményezésre a teljes hazai nukleáris hatósági rendszert vizsgáló 2015-ös IRRS-misszió folytatásaként idén ősszel ismét hazánkba látogat a NAÜ szakértői delegációja. A követő misszió a korábbi jelentésben foglalt észrevételek és javaslatok kezelését fogja ellenőrizni – mondta. Felszólalásában kitért arra is, hogy a magyar kormány szükségesnek tartja a NAÜ központi szerepének fenntartását a globális nukleáris védettség fokozásában.

A NAÜ legnagyobb éves rendezvényének számító közgyűlésen a 170 tagállamon felül a világ minden tájáról nemzetközi és nem kormányzati szervezetek képviselői is részt vesznek 2018. szeptember 17-21. között, Bécsben. A közgyűlés kiemelt kísérőrendezvényének számít az idén huszonegy ország résztvevőivel zajló Tudományos Fórum, melynek idei fő témája: a nukleáris tudomány szerepe a globális éghajlatvédelemben, így az éghajlatváltozás negatív hatásainak enyhítésében, a nyomon követésben és az éghajlati alkalmazkodás elősegítésében.

INNOVÁCIÓS ÉS TECHNOLÓGIAI MINISZTÉRIUM
Kommunikációs Főosztály

Blokk-orientált szimulációs keretrendszer napkollektoros alkalmazások vizsgálatára

Tóth János
PhD hallgató, toth-janos@outlook.com

Dr. Farkas István
mérnök, farkas.istvan@gek.szie.hu

Jelen munkában a napkollektoros rendszerek vizsgálatára készült keretrendszer kerül bemutatásra. A kidolgozott szimulációs rendszer a Mathworks cég MATLAB+Simulink programcsomagjára épül, amely lehetőséget ad a blokk-orientált modellezésre. A rendszer jelenleg tartalmaz egy napkollektort, egy hőtárolót, egy szabályozó egységet és egy szivattyút. Ezen részegységekből összeépített napenergia hasznosító rendszer szimulációs eredményei alátámasztják a fejlesztőkörnyezet hatékonyságát. További részegységek modelljének kidolgozására is javaslat készült.

*

In this paper a framework for the study of solar thermal systems will be presented. The base of this framework is the MATLAB+Simulink software package made by Mathworks, which supports the block-oriented modelling approach. Currently, the system contains a solar thermal collector, a storage tank, a controller unit and a pump. A solar thermal system, built using these parts, has been simulated. The results of the simulations confirmed the usefulness of the modelling framework. The further expansion of the set of device models will be discussed.

* * *

Az elmúlt években felgyorsult napenergia hasznosító rendszerek fejlődése. Ennek során számos kísérletet végeztek el és prototípust készítettek a fejlesztők. Egy prototípus rendszer felépítése, ami elengedhetetlen a kísérlethez, rendkívül költséges. A számítógépes modellezési technikák segítségével ezek a költségek csökkenthetők, de jellemzően az elkészített algoritmusok egy specifikus rendszert írnak le. A vizsgálandó rendszerek matematikai leírására több megoldás is létezik, amelyek közül kiemelendők a differenciálegyenlet módszerek (Nagle et al., 2012), amelyek időtartományban használandók, az átviteli függvények (Paraskevopoulos, 2002), melyek operátor tartományban nyújtanak megoldást és az állapot-tér modellek (Shumway, Stoffer, 2011). Ezen leírási módszerek mind alkalmazhatók a blokk-orientált modellezési megközelítésben.

A blokkorientált eljárás egy olyan modellezési technika, ahol a modell úgynevezett „blokkokra" van szétosztva. A blokkok tulajdonképpen egy ki- és bemeneti változókkal rendelkező függvények, és az így leképzett teljes modell a blokkok kölcsönhatásának eredménye. A blokkorientált modellezés fő előnyei a vizuális megjelenítés és a modularitás. Az így elkészült modell tekinthető egy kapcsolási „rajznak", ami könnyebb és gyorsabb áttekintést ad a rendszer működéséről. A modularitás előnye akkor nyilvánul meg, ha az adott részegységre egy másfajta megoldást kívánunk vizsgálni, vagy ha változtatni szeretnénk a modellen, akkor ez azt jelenti, hogy csak egy blokkon kell változtatunk.

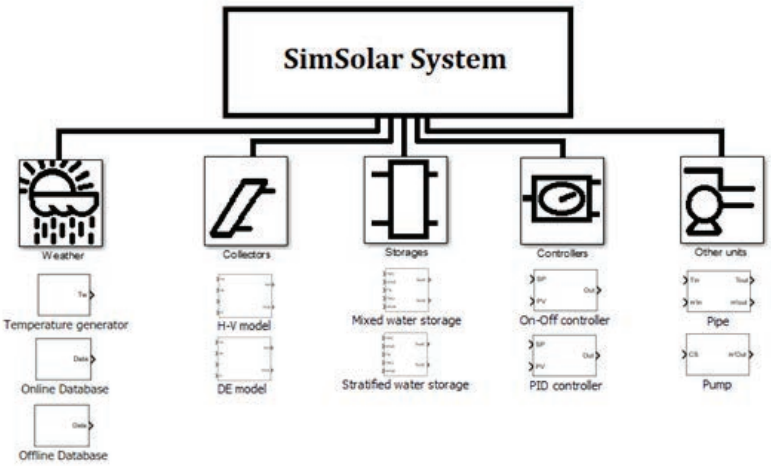
A blokk-orientált modellezés a számítástechnika fejlődésével együtt fejlődött és képessé vált a megfelelő pontosságú szimulációs feladatokra, vagyis adott technológiai folyamatok leírására, például a szoláris napenergia hasznosító rendszerekéire (Farkas, 1996). Kereskedelmi forgalomban is kaphatók ilyen megközelítést biztosító programcsomagok, például a TRNSYS (Kyn et al., 2013; TRNSYS Manual, 2009), Polysun (Lacoste et al., 2010) vagy a LabVIEW (Asmundis, 2011). Ezen programok megléte bizonyítja a megközelítésben rejlő lehetőségeket, de a fent említett programok, kereskedelmi voltuk miatt, saját eszközökkel történő kibővítésük problémákat okozhat, hiszen nem mindig áll rendelkezésre a működésük megfelelő mélységű ismerete.

A MATLAB + Simulink programcsomag alapú megközelítés egy ideális választás a vázolt feladatra. A szoftver támogatja a közönséges differenciálegyenletek numerikus megoldását (Ashino et al., 2000), az átviteli függvényeket és az állapot-tér modelleket (Simulink User's Guide., 2015). Ugyanakkor a blokkorientált modellezés is szerves részét képezi a programcsomagnak, valamint lehetőség van külső kiegészítő alkalmazások készítésére, mint például egy adatbázis kapcsolat elérése (Tóth, Buzás, 2015).

Az így elkészített keretrendszer lehetőséget biztosít majd a modellekhez való hozzáféréshez (Tóth, Farkas, 2017), így lehet majd módosítani, létrehozni új blokkokat, ami oktatási szempontból is hasznos, hiszen a felépített modell teljes egészében áttekinthető és könnyen értelmezhető.

SimSolar rendszer általános felépítése

A bevezetőben elmondottak alapján, a kitűzött feladat első lépése egy olyan keretrendszer megalkotása volt, amely képes kielégíteni a már említett elvárásokat, vagyis képes legyen kezelni a differenciálegyenleteket, az átviteli függvényeket és az állapottér-modelleket, valamint alkalmas legyen a blokk-orientált modellezésre. Ezeken felül fontos szempont volt a könnyű kezelhetőség és bővíthetőség



1. ábra. **SimSolar rendszer struktúrája**

is. Az így megtervezett és kidolgozott napenergiás szimulációs keretrendszert a „SimSolar”-nak neveztük el.

A SimSolar rendszer egy olyan blokk-könyvtár, ami kifejezetten napenergia hasznosító rendszerek blokk-orientált modellezéséhez készült. A rendszer felépítéséhez szükséges egységek külön alcsoportokban találhatók, melyek az Időjárás, Napkollektorok, Tárolók, Szabályozók és az Egyéb egységek. A továbbiakban ezen egységek kerülnek részletes bemutatásra. Nemzetközi felhasználás miatt a keretrendszer kommunikációs nyelve angol. Az 1. ábrán a SimSolar rendszer struktúrája látható.

Időjárás blokkok

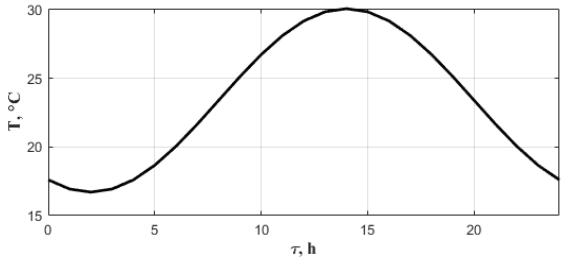
Minden szimulációhoz szükségesek a bemeneti meteorológiai adatok, mivel ezen adatok hatását szeretnénk vizsgálni az adott rendszeren. Ezen adatok lehetnek egy matematikai modell által generáltak, valós online értékek vagy mérések eredményei. Ebben a dolgozatban egy hőmérsékleti adatokat generáló blokk, valamint az online és offline adatbázisok elérhetősége és felhasználhatósága kerül bemutatásra.

Hőmérséklet generátor

A Hőmérséklet generátor egy validált matematikai modell (Farkas, 1999) segítségével állítja elő egy adott nap környezetei hőmérséklet eloszlását. A modell leíró egyenlete a következő:

$$T_W(\tau)=T_a\cos\left(\left(\frac{\pi}{12}\right)(\tau-\tau_o)\right)+T_m \qquad (1)$$

Példaként egy nyári nap (az év 183. napja) hőmérséklet eloszlása látható a 2. ábrán.



2. ábra. **Egy átlagos nyári nap hőmérsékleteloszlása**

Az egész évre vonatkozó modell paraméterei közelíthetők további függvényekkel (Farkas, 1999), így a modell az egész éves hőmérsékleteloszlást képes előállítani. A paraméterek leírására használt függvények a következők:

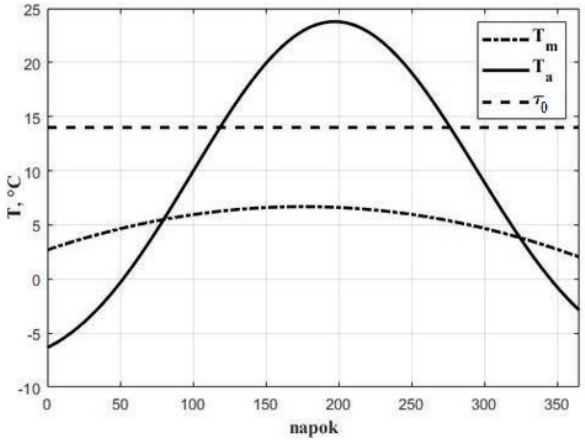
$$T_W(\tau)=T_a\cos\left(\left(\frac{\pi}{12}\right)(\tau-\tau_o)\right)+T_m \qquad (2)$$

$$\hat{T}_m(N_{day})=\left(a_4N_{day}^2+a_5N_{day}+a_6\right)exp\left(-\left(\frac{N_{day}-a_7}{182{,}5}\right)^2\right). \qquad (3)$$

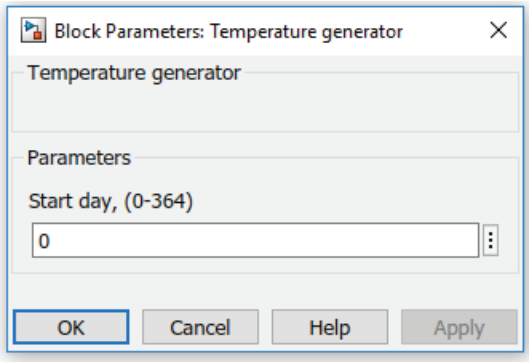
$$\hat{\tau}_o=a_8. \qquad (4)$$

A függvényekben található együtthatók identifikálása mérési adatok alapján történt. Az adott tényezők egész éves alakulását, Budapestre vonatkozóan, mutatja a 3. ábra.

A Hőmérséklet generátor blokkban csak a kezdeti napot kell beállítani, a szimulációs idő felhasználásával az adatok automatikusan generálódnak. A blokk beállításai láthatók a 4. ábrán.



3. ábra. **Hőmérséklet paraméterek éves alakulása**



4. ábra. **Hőmérséklet generátor beállítása**

Online adatbázis

Egy szimulációhoz a mért adatok a leghasznosabbak, hiszen ezek tükrözik kellőképpen a valóságot. Ezen mérések eredményeit adatbázisokban tároljuk, hiszen így szélesebb körben hozzáférhetők. Ezek az adatbázisok döntő többségében úgynevezett relációs adatbázisok, vagyis a bennük tárolt bejegyzések (sorok) egyediek. A relációs adatbázisok használatára jött létre az SQL (angol: structured query language – strukturált lekérdezőnyelv), ami egy szabványos nyelv, így a használata független az adatbázis technikai megvalósításától.

Az *online adatbázis* blokk egy adatbázissal, ami egy MySQL nevű virtuális szerver, lép kapcsolatba és onnan kéri le a mérési adatokat. A Simulink program nem tartalmaz beépített adatbáziskezelést, így ezt egy dinamikus csatolású könyvtár állománnyal (angol: dynamic link library - .dll) kellett megoldani. Ez az állomány C programnyelvben íródott és felhasználja a *MySQL Connector C* interfészének a 6.1.11.-es verzióját. Ez az állomány kezeli a kapcsolódást a szerverre, az adatkéréseket, a beérkezett adatok értelmezését és a Simulink által is értelmezhető adatok memóriába importálását.

A blokk az alábbi formátumban tárolt adatbázis bejegyzéseket képes értelmezni.

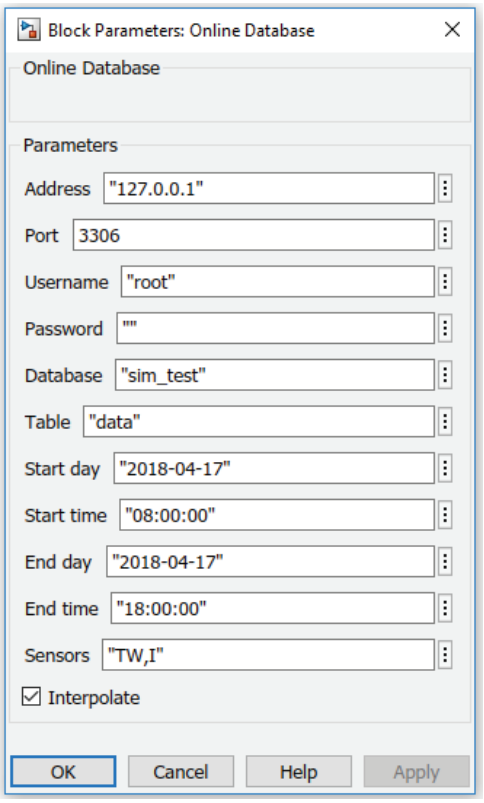
date (dátum)	time (idő)	data (adat)
YYYY-MM-DD	hh:mm:ss	N1=v1;N2=v2;N3=v3; …

Itt az $N_1,N_2,\ldots$ nevekhez tartozó $v_1,v_2,\ldots$ értékek találhatók a mérés pontos időpontjával. A blokk a megadott időintervallumból kiválasztja a megadott nevekhez tartozó értékeket.

A szimulációs időpontok gyakran jóval sűrűbbek (másodpercek), mint a mérési időpontok (órák), így a blokkban lehetőség van engedélyezni a lineáris interpolációt, így javítva a szimuláció pontosságát.

A szimuláció lefuttatása nagyságrendekkel kevesebb időt vesz igénybe, mint az adatbázissal való kommunikáció, és ezen szimulációk többször is lefutnak ugyanazon adatsorral, például egy szabályozó beállítása esetén. Ezen probléma kiküszöbölésének érdekében a blokk készít egy egyedi fájlt a beállított paraméterek alapján, ahova elmenti a lekért értékeket, természetesen csak akkor, ha ez a fájl még nem létezik. A szimuláció kezdetén a blokk ellenőrzi ennek a fájlnak a létét, amennyiben megtalálja, akkor a fájlból olvassa vissza az adatokat, ami lényegesen kevesebb időt vesz igénybe.

Az 5. ábrán láthatók a blokk beállításai, ahol meg kell adni a kapcsolódáshoz szükséges adatokat, az időintervallumot és a kívánt azonosítókat. A kapcsolódáshoz szükséges adatok specifikusan a MySQL szerverhez tartoznak, amelynek első két paramétere a szerver elérést adja meg, a harmadik és negyedik a szerver felhasználóját azonosítja, az ötödik és hatodik paraméter pedig az adatbázison belül azonosítja az adathalmazt. Ezen paraméterek a szervert üzemeltető rendszergazdától kaphatók meg.



5. ábra. **Online adatbázis blokk beállításai**

Offline adatbázis

Az adatbázisok használatának akadálya, ha nem áll rendelkezésre kapcsolat a szerver és a felhasználó között. Ekkor fel lehet használni a korábban lementett adatokat. Erre ad lehetőséget az offline adatbázis blokk.

Az *offline adatbázis* egy lokális állományt használ az adatok beolvasására. A Simulink program nem tartalmaz egyszerű megoldást a különböző szöveges állományok kezelésére, így ez a blokk is a fent említett .dll állományt használja, amiben a fájl és karakterlánc kezelését C nyelven írtuk meg.

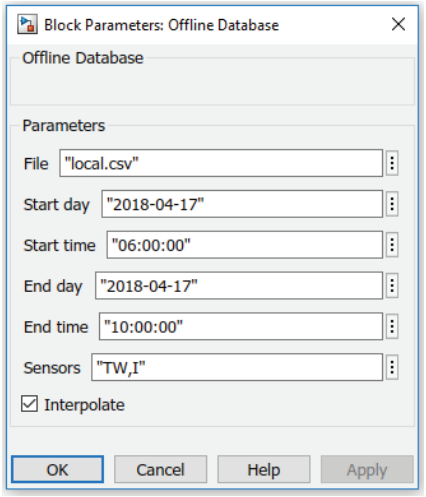
A blokk az alább részletezett pontosvesszővel elválasztott állományt (angol: comma separated values, .csv) képes kezelni. A névvel ellentétben, itt pontosvesszőt használ az adatok tagolására, ez a későbbiekben egy beállítható karakter lesz. Ezen állomány könnyen exportálható egy meglévő Excel táblából. A további fejlesztések során tervezett a natív Excel támogatás is.

```
Date;Time;N1;N2;N3;N4...
YYYY-MM-DD;hh:mm:ss;v1;v2;v3;v4...
```

Az állomány első sora (fejléce) tartalmazza az oszlopok megnevezését, ahol az első két oszlop minden esetben a mérés időpontjáról ad információt, majd rendre az értékekhez tartozó azonosítók következnek. Ezen megadott $N_1,N_2,\ldots$ azonosítókhoz tartozó $v_1,v_2,\ldots$ értékeket válogatja ki a blokk a megadott időintervallumból.

Az *online adatbázis* blokkhoz hasonlatosan itt is lehetőség van a lineáris interpolációra.

A 6. ábra mutatja a blokk beállításait, ahol meg kell adni a fájl eléréséi útját, az időintervallumot és az azonosítókat.



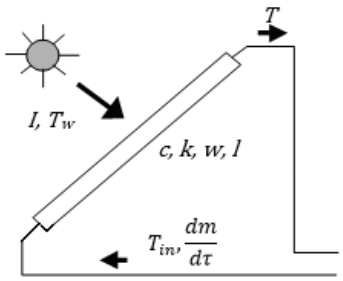
6. ábra. **Offline adatbázis blokk beállításai**

Napkollektorok

A szoláris termikus rendszerekben a napkollektoroknak alakítják át a Nap sugárzó energiáját hővé. Ezért a hasznosító rendszer fő elemét képzik ezen eszközök, hisz a rendszer célja az optimális energia begyűjtés és továbbítás, ami elsődlegesen itt történik meg. Az alábbiakban bemutatásra kerül a *SimSolar* rendszer jelenlegi napkollektor modellje.

Hottel-Vhillier modell

A Hottel-Vhillier (H-V) modellt a 7. ábrán bemutatott napkollektorra adtuk meg (Farkas, 1999).



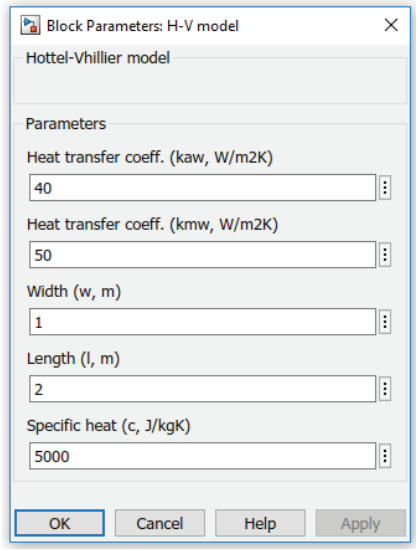
7. ábra. **Kollektor sematikus vázlata**

Ezek alapján a modellt leíró egyenlet a következő:

$$T(\tau)=T_W(\tau)+\frac{I(\tau)}{k_{aw}}+\left(T_{in}(\tau)-T_W(\tau)-\frac{I(\tau)}{k_{aw}}\right)exp\left(-\frac{k_{mw}wl}{c_m\frac{dm}{d\tau}}\right) \quad (5)$$

A modellben található paraméterek döntő többsége mérhető vagy katalógusadat, viszont a k_{aw} és k_{mw} hőátadási tényezők közvetlen mérése nehézségekbe ütközhet, így ezeket szinte minden esetben identifikálni kell a kiválasztott kollektorra.

A 8. ábra mutatja a blokk beállítási lehetőségeit.



8. ábra. **H-V modell blokk beállításai**

Hőtárolók

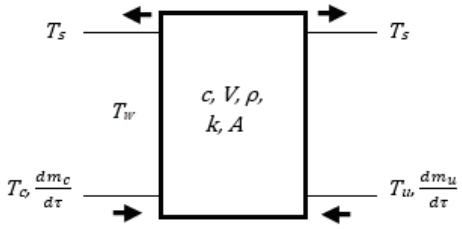
A napenergia hasznosító rendszer fontos elmét képezik a hőtárolók, mivel a begyűjtött energia felhasználásának ideje nem feltétlenül esik egybe a begyűjtés idejével, így ezt az energiát tárolni kell a későbbi felhasználás céljából.

A hőtárolók csoportba tartoznak a különböző típusú tárolók matematikai modelljei. Ez jelenleg egy kevert vizes tárolót tartalmaz, de jövőben bővül majd egy rétegzett tárolóval is.

Kevert vizes tároló

A kevert vizes tároló gyakori használata miatt lett kiválasztva, mint modell. Az ilyen fajta szoláris tárolók kerülnek beépítésre a háztartásokba, hisz megfelelnek az ott elvárt alkalmazási feltételeknek.

A kevert vizes tároló modelljét a 9. ábrán látható tároló alapján adtuk meg (Duffie, Beckman, 2013).



9. ábra. **Hőtároló sematikus vázlata**

A 9. ábra jelöléseit felhasználva a matematikai modellt leíró egyenlet alakja:

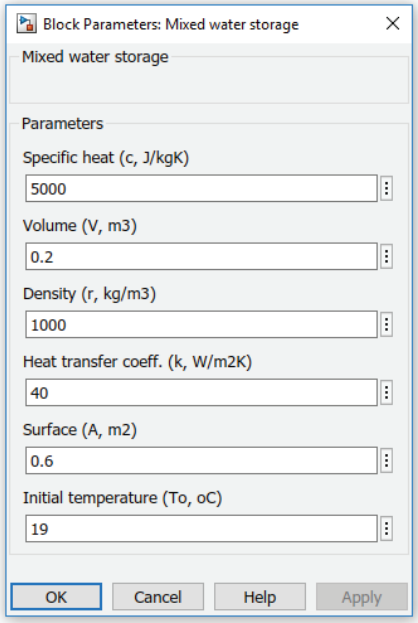
$$c_sV_s\rho_s\frac{dT_s(\tau)}{d\tau}=c_c\frac{dm_c(\tau)}{d\tau}(T_c(\tau)-T_W(\tau))-c_u\frac{dm_u(\tau)}{d\tau}(T_s(\tau)- \quad (6)$$

$$-T_{uin}(\tau))-k_sA_s(T_s(\tau)-T_w(\tau)).$$

A modellben található összes paraméter meghatározható katalógusból, így azok pontosítása nem igényel további paraméter identifikációt.

A modellnek elvben csak egy kimenete van, de az egységes felépítés miatt két kimenettel rendelkezik, szem előtt tartva a *hőtárolók* könyvtár későbbi modellekkel való kompatibilitását.

A 10. ábrán a kevert vizes hőtároló blokk beállításai láthatók, ahol a katalógusadatok mellett a tároló kezdeti hőmérsékletét is meg kell adni, mivel a modellt egy differenciálegyenlet írja le.



10 ábra. **Kevert vizes tároló blokk beállításai**

Szabályozók

Egy termikus rendszer elengedhetetlen eleme a szabályozó, mivel ezen egység nélkül csupán az időjárás határozná meg a rendszer állapotát, ami gyors tönkremenetelhez és nem kívánatos viselkedéshez vezetne.

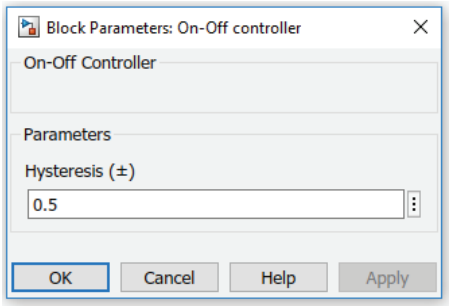
A szabályozók csoportban a szabályozó egységek matematikai modelljei vannak. Jelenleg egy állásos szabályozót tartalmaz, de a jövőben kiegészül majd egy PID és további szabályozó algoritmusokkal is.

Állásos szabályozó

Az állásos szabályozó a legegyszerűbb típusú szabályozó. Csak két érték kiadására alkalmas. A szabályzó logikája a hibajel és a hiszterézis érték összehasonlításával dönt a kimenet értékéről. A szabályozó egy matematikailag nem folytonos kimenettel rendelkezik:

$$u(\tau)=\begin{cases}1, & \text{ha } r(\tau)-y(\tau)\geq 2h\\ 0, & \text{egyébként}\end{cases} \quad (7)$$

A blokk beállításainál csak a hiszterézis értékét kell megadni, ami dimenzió nélküli, mivel a szabályozó különböző folyamatoknál is felhasználható.



11. ábra. **Állásos szabályozó blokk beállításai**

Egyéb egységek

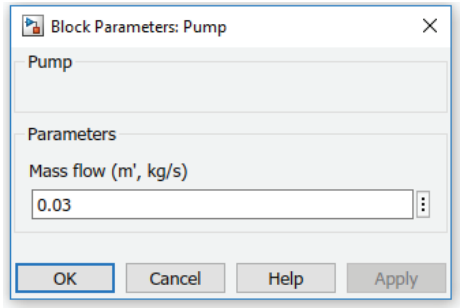
Ebbe a csoportba kerültek az egyéb, kiegészítő egységek, amik a rendszer összeállításához szükségesek. Ilyen egységek a jelenleg már kezelt *szivattyú* és a *csővezeték* blokkok.

Szivattyú

A szivattyú modell egy lineáris karakterisztikával rendelkező szivatytyút ír le, vagyis a kimeneti tömegáram a kezdeti tömegáram és az irányító jel szorzata. A jövőben egy valós szivattyú karakterisztika is implementálva lesz, de az állásos szabályozó miatt ez a modell is alkalmas a jelenlegi vizsgálatokra:

$$\frac{dm}{d\tau} = \frac{dm_o}{d\tau} u(\tau). \qquad (8)$$

A blokkban a kezdeti tömegáramot lehet megadni.



12. ábra. **Szivattyú blokk beállításai**

Csővezeték

A csővezeték modell jelenleg nincs implementálva, csak formálisan létezik, azaz a bemeneti jeleket továbbítja a kimenetére. Azonban a jelenléte fontos a rendszer szempontjából, hiszen a modelljének kidolgozása után az elkészült rendszereket elég csak újra szimulálni, nem kell újból összeállítani.

A vizsgált rendszer

A vizsgált szoláris rendszert a bemutatott blokkokból állítottuk össze. Tartalmaz egy online adatbázist, egy H-V kollektor modellt, egy kevert vizes tároló modellt, egy állásos szabályozó modellt, két szivattyú modellt és egy csővezeték modellt.

A szimulációt korábbi mérések adatainak felhasználásával végeztük el, amiket egy adatbázis szerver tárol online elérhetőséggel.

A napkollektor technikai paraméterei.

- kollektor szélessége: 1 m,
- kollektor hossza: 2 m,
- munkafolyadék: víz.

Mérések alapján identifikált hőátadási tényezők:

- az abszorber és a környezet között: 40 $Wm^{-2}K^{-1}$,
- a munkafolyadék és a környezet között: 50 $Wm^{-2}K^{-1}$.

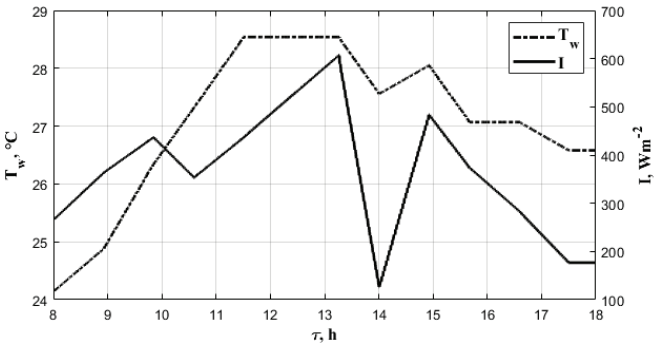
A kevert vizes tároló technikai paraméterei:

- tároló térfogata: 0,2 m^3,
- tároló felszíne: 0,6 m^2,
- hőátadási tényező: 40 $Wm^{-2}K^{-1}$,
- kezdeti hőmérséklet: 20 °C,
- munkafolyadék: víz.

A kollektorhoz csatlakoztatott szivattyú tömegárama 0,03 kgs^{-1}, a tárolóhoz csatlakoztatotté pedig 0,015 kgs^{-1}.

A szimuláció időtartama 36000 s.

A 13. ábrán a szimulációkhoz felhasznált környezeti hőmérséklet és a napsugárzás mérési adatai láthatók.

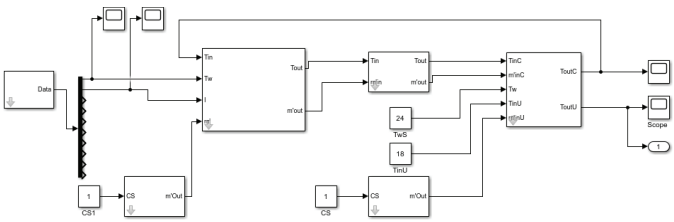


13. ábra. **Szimuláció bemenő meteorológiai adatai**

A rendszert két szimulációs összeállításban vizsgáljuk, először szabályozó egység nélkül, majd szabályzó egységgel, így bemutatva a szabályozó hatását.

Szabályozó nélküli rendszer

A szabályozó nélküli rendszer összeállítása a 14. ábrán látható.



14. ábra. **Szabályozó nélküli rendszer**

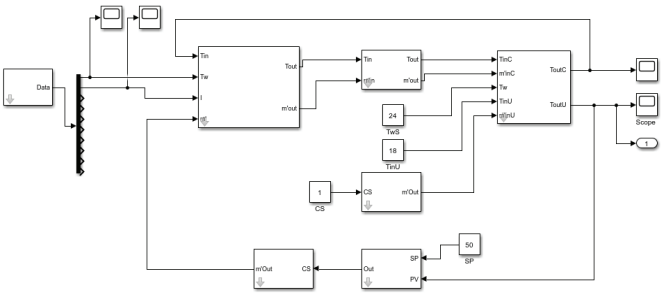
Szabályozóval ellátott rendszer

A következő vizsgálathoz egy állásos szabályozó került a rendszerbe, ami a kollektorhoz csatlakoztatott szivattyút működését szabályozza a tárolóból kilépő hőmérséklet alapján. Az alapjel 50 ºC ± 0.5 ºC hiszterézissel. Ez az összeállítás látható a 15. ábrán.

Eredmények

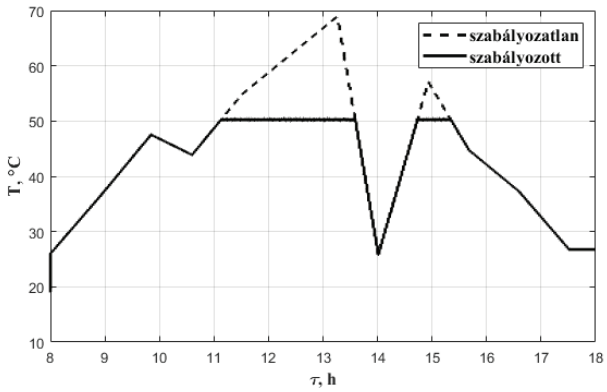
A kapott szimulációs eredményekből megfigyelhető, hogy a rendszer jellegében követi a napsugárzást, és a szabályozatlan esetben akár 70 ºC-ig is felmehet a tárolóból kilépő víz hőmérséklete.

A szabályozóval ellátott rendszer esetén a szabályozó sikeresen 50 és 50,5 ºC között tartotta a tároló kilépő hőmérsékletét, ahol ez lehetséges volt, máshol a szabályozatlan esetben tapasztalt értékekkel azonosakat vett fel.



15. ábra. **Szabályozóval ellátott rendszer**

A tárolóból kilépő víz hőmérséklete a szabályozott és a szabályozás nélküli esetekre a 16. ábrán látható.



16. ábra. **Vizsgált rendszer tárolójának hőmérséklete**

Összefoglalás

Elkészült egy, a napenergia hasznosító rendszerek vizsgálatára alkalmas blokk-könyvtár Simulink környezetben, melyben egy rendszer összeállításához szükséges alapvető blokkok megtalálhatók, nevezetesen a bemeneti adatok generálása vagy mért értékek betöltése, a napenergia begyűjtése, az energia tárolása, a fluidum keringtetése és a folyamat szabályozása.

Ezen blokkok segítségével egy teszt rendszer szimulációs vizsgálata is megtörtént, mind szabályozott mind pedig szabályozás nélküli esetben, ezzel bemutatva a szabályozó hatását a hőtároló hőmérsékletének alakulására.

Az eredmények alapján megállapítható, hogy az elkészült blokk-orientált környezet alkalmas a napenergia hasznosító rendszerek vizsgálatára és indokolt a további fejlesztése.

A jövőbeli fejlesztések során az egyes alcsoportok ki fognak egészülni további modellekkel, különös tekintettel a szabályozó egységekre. Ily módon összetettebb, valóságos rendszerek viselkedésének tanulmányozása is lehetővé válik.

Jelölések jegyzéke

A	felület	m^2
c	fajhő	$Jkg^{-1}K^{-1}$
h	hiszterézis	
I	napsugárzás	Wm^{-2}
k	hőátadási tényező	$Wm^{-2}K^{-1}$
l	kollektor hossza	m
m	tömeg	kg
r	alapjel	
T	hőmérséklet	K
u	irányító jel	
V	térfogat	m^3
w	kollektor szélessége	m
y	rendszer kimenete	

Görög betűk

τ	idő	s
ρ	sűrűség	kgm^{-3}

Indexek

a	abszorber, amplitúdó
c	kollektor
day	nap
in	bemenet
m	átlag, munkafolyadék
o	eltolás
s	táp
w	környezet
u	felhasználó
0	kezdeti

Köszönetnyilvánítás

A kutatás a Szenti István Egyetem, Műszaki Tudományi Doktori Iskola támogatásával valósult meg.

Irodalom

[1] Ashino, R., Nagase, M., Vaillancourt, R. (2000), Behind and beyond the MATLAB ODE suite, CRM-2651
[2] Asmundis R. (2011): Modeling, programming and simulations using LabVIEW™ software.
[3] Duffie J. A., Beckman W. A. (2013): Solar engineering of thermal processes, pp. 386-387.
[4] Farkas I. (1999): Computer simulation, Gödöllő, Hungary, pp. 28-45.
[5] Farkas I., Rendik Z. (1996): Block oriented modeling of drying processes, Mathematics and Computers in Simulation, Volume 42, Issues 2–3, pp. 213-129.
[6] Franklin G. F., Powell J. A., Emami-Naeini A. (2018): Feedback control of dynamic systems.
[7] Kyn, M., Urban, M. (2013): TRNSYS Software Model of Solar System with Long-Term Storage, Advanced Materials Research Vol. 649, pp. 303-306.
[8] Lacoste, B., Wolf, A., Witzig, A., Marklin, A. (2010), Polysun: PV, Wind and power-heat cogeneration in one design tool, Proceedings of the 5th European PV-Hybrid and Mini-Grid Conference, pp. 1-8.
[9] Nagle N. K., Saff E. B., Snider A. D. (2012): Fundamentals of differential equations.
[10] Paraskevopoulos P. N. (2002): Modern control engineering, pp. 31-46.
[11] Shumway R. H., Stoffer D. S. (2011): Time series analysis and its applications, pp. 319-404.
[12] Tóth J., Buzás J. (2015): Development of data logging, monitoring and control software in connection with a database server, Book of Abstracts, 14th International Workshop for Young Scientists (BioPhys Spring 2015), Gödöllő, Hungary, May 27-29, pp. 20-21.
[13] Tóth J., Farkas I. (2017): Developing a Simulink library for solar energy applications, R&D in Mechanical Engineering Letters, Gödöllő, Hungary, Vol. 16, pp. 89-95.
[14] Tóth J., Farkas I. (2017): Napkollektoros rendszerek vizsgálata blokk-orientált szimulációval, Mezőgazdasági technika, 58. évfolyam, 11. szám, 2-5. o.
[15] TRNSYS Manual, (2009), Vol 1. http://web.mit.edu/parmstr/Public/Documentation/01-GettingStarted.pdf, (letöltve: 2018.05.24)
[16] Simulink User's Guide (2015):https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/845043405443232/sl_using_r2015a.pdf (letöltve: 2018.05.24)

Reakció zóna felügyelet rostélyos, biomassza tüzelésnél

Garami Attila
PhD hallgató, tuzga@uni-miskolc.hu

Tóth Pál
adjunktus, toth.pal@uni-miskolc.hu

Szűcs István
prof. emeritusz, tuzsi@uni-miskolc.hu

Jelen kutatómunka egy gépi látás alapú reakció zóna felügyeleti rendszer alkalmazhatóságát vizsgálja biomassza tüzelés során. Az alkalmazott rendszer egy szakaszosüzemű, 3 MW hőteljesítményű, bolygatott rostélyos biomassza tüzelésű kazán reakció zónájának helyét határozza meg és annak nyomon követését látja el. A felügyeleti rendszer a reakció zóna helyzetéből nyert információkat feldolgozva lehetővé teszi a tüzelőanyag adagolás, a rostélymozgatás és a primer égési levegő adaptív vezérlését, aminek következtében biztosíthatóvá válik a rugalmasabb tüzelőanyag hasznosítás, a homogénebb tüzelőanyag eloszlás, optimálisabb helyi sztöchiometria, csökkent szálló pernye képződés és alkalmazkodás a változó kazán teljesítményhez. A kutatómunka során megállapítottuk, hogy a reakció zóna helyzete és számos üzemi paraméter között szoros kapcsolat áll fenn. Ebből arra a következtetésre jutottunk, hogy a felügyelet és a vezérlés szempontjából a reakció zóna helyzete hasznos mérőszám, mivel kiegészíti a már létező felügyeleti rendszerek mérését és ezáltal csökkenti a tüzelőberendezés károsanyagkibocsátást és növeli működésének hatékonyságát.

*

In this work the utilization of a machine vision-based combustion monitoring system was demonstrated in biomass combustion. The proposed system monitored the location of the reaction zone in a 3 MW, grate-fired biomass boiler operated at varying loads and with fluctuating fuel quality. The monitoring system allows for the adaptive programming of the fuel feeding, grate motion and primary air flow rates. Such an adaptive system is expected to provide increased fuel flexibility, homogeneous distribution of fuel on the grate, optimal local stoichiometry, reduced elutriation of fly ash and to adapt to changing fuel quality and to varying loads. Strong correlation was found between the reaction zone boundary location and most process parameters, indicating that the location of the reaction zone can be a useful information in monitoring and control by providing supplementary measurements to already existing monitoring to avoid over-emissions and improve economics.

* * *

Biomassza felhasználásával történő hő- és villamosenergia-termelésben messze a legszélesebb körben alkalmazott technológia az égetés, amely több mint 90%-os részarányú. Ezen belül az egyik legelterjedtebb módszer az úgynevezett rostélyos tüzelés. A hőtermelésben alkalmazott rostélyos tüzelőberendezések pár kW-tól egészen 150 MW hőteljesítményig működnek biztonságosan. A viszonylag kicsinek mondható maximális hőteljesítmény nem jelent hátrányt, mivel a napjainkban széles körben alkalmazott decentralizált hőtermelő rendszereket kifejezetten ebben a teljesítmény tartományban üzemeltetik. A tüzelőanyag típusának rugalmassága szempontjából tovább népszerűsíti a technológiát kisebb alkalmazások számára [18]. A rostélyos tüzelőberendezésekről köztudott, hogy alacsonyabb hatásfokkal üzemelnek, mint például a fluidágyas rendszerek [14]. Ezek ellenére egyszerű felépítésük és üzemeltetésük miatt népszerűek, ezért és a megújuló alapú energiatermelésben képviselt magas részarányuk miatt fontos működésük hatékonyabbá tétele.

A klímaváltozás és a növekvő környezeti problémák miatt az alacsony minőségű és heterogén tüzelőanyagok vagy tüzelőanyagkeverékek alkalmazása világszerte elterjedt [2]. Rostélyos tüzelés általánosan elterjedt technológia az ilyen típusú tüzelőanyagok elégetésére, azonban az alacsony minőségű tüzelőanyag által okozott problémák megoldása, mint például csökkent hatásfok, növekedett károsanyag-kibocsátás, lerakódás, korrózió és gyenge lángstabilitás, elengedhetetlen korszerű felügyeleti és szabályozó rendszerekkel [11].

Az online felügyelet és diagnosztikák hasznos eszközei a tüzelési folyamatok optimalizálásának, mivel a folyamatról a releváns információkat intruzív és non-intruzív módszereken keresztül dolgozzák fel.

A legtöbb tüzelési technikában a tüzelőanyag kémiai átalakulása hőenergiává a lángban megy végbe, ezért a láng központi folyamatnak tekinthető. Így nem is meglepő, hogy számos felügyeleti módszer közvetlenül a lángból nyerhető információkra fókuszál.

Korszerű digitális eljárások és adatfeldolgozás megjelenésével a legígéretesebb technika a láng optikai képalkotása valós idejű online képfeldolgozással. Számos korábbi tanulmány bizonyította, hogy a megfigyelt geometriai és fényintenzitás paramétere a lángnak információt hordoz a tüzelési folyamat hatékonyságáról és minőségéről [17]. Lángképalkotásnak számos előnye van a hagyományos módszerekkel szemben: hasonlóan az optikai szenzorokhoz a képalkotás non-intruzív és azonnali mérést tesz lehetővé, mivel az információ a látható láng egészéből, vagy annak jelentős részéből származik. A rögzített képek mind térbeli, mind időbeli információkat is tartalmaznak, ezáltal a kapott információ tartalma túlmutat az önálló szenzorok kapacitásán.

Számtalan tanulmány demonstrálta a tüzeléstechnikában használt látásalapú felügyeleti rendszerek alkalmazhatóságát. Sok módszer képfeldolgozást alkalmaz a geometriai és a fényintenzitás paraméterek kinyerésére a lángképekből. Ezen a paraméterek jól ismerten kapcsolatban állnak a tüzelés körülményeivel és a károsanyag-kibocsátásokkal [11] [17] [12] [15] [1] [10] [19] [4] [13].

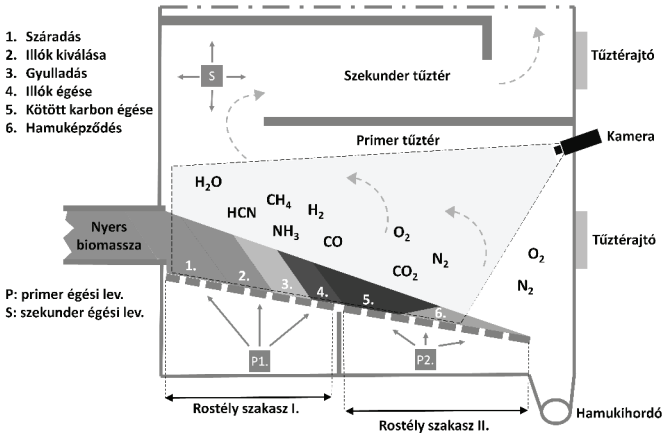
A biomassza égésének ciklikus folyamata négy szakaszból áll: száradás, illók kiválása (termikus bomlás), illók égése (tűztérben és a második huzamban), kötött karbon kiégése. Ezen lépések fontossága nagyban függ az alkalmazott technológiától, a tüzelőanyagtól és a végbemenő folyamat feltételeitől. Az említett szakaszok jól elkülöníthetők a többfokozatú égési levegős tüzelés alkalmazása esetén. Továbbá ipari méretű, rostélyos, biomassza tüzelésű kazánokban ezen folyamatok a rostély különböző szakaszaiban mennek végbe. A nyers biomassza beadagolásától a kiégéséig tartó útja, és az eközben keletkező szilárd és légnemű anyagok az 1. ábrán követhetők nyomon. A tüzelés égéstermékei a pernye, a salak és a gázhalmazállapotú reakció termékek [9].

Ezen folyamatok időzítése és vezérlése alapvető jelentőségű az alacsony károsanyag-kibocsátás és magas hatékonyság elérése érdekében. A rostélyos tüzelőberendezésekben az elkülönülő folyamatok a tüzelőanyag adagolásának, az elsődleges égési levegő befúvatásának és a rostély elemek mozgatásának vezérlésével tarthatók kézben. Rostélyos tüzelőberendezések jellemzően állandó minőségű tüzelőanyagok elégetésére alkalmasak, mivel a fentebb említett négy zóna helyzete tapasztalati úton ismert. Ugyanakkor a tüzelőanyag minőségének ingadozása a rendszer állapotának jelentős megváltozását okozza. Egyéb nem kívánt hatás mellett, az optimálistól elmaradó működés okozhat egyenlőtlen tüzelőanyag eloszlást, helyi forró pontok vagy éppen lyukak kialakulását a tüzelőanyag elhelyezkedésében a rostélyon vagy magas fokú részecske-kibocsátás a füstgáz általi elragadás miatt [16].

Előzőket figyelembe véve, a reakció zóna helyzetéből nyert információkat feldolgozva lehetőség nyílik a tüzelőanyag adagolás, a rostélymozgatás és a primer égési levegő adaptív vezérlésére, aminek következtében biztosíthatóbbá válik a homogénebb tüzelőanyag eloszlás, az optimális helyi sztöchiometria, a rugalmasabb tüzelőanyag hasznosítás, a csökkent szálló pernye képződés és a jobbalkalmazkodás a változó kazán teljesítményhez. Tehát, rostélyos tüzelés során képalapú lángfelügyeleti rendszert alkalmazva a folyamat hatásfoka növelhető, míg károsanyag-kibocsátása csökkenthető sokkal megbízható működés mellett.

Az alkalmazott rendszerben rejlő jelentős potenciál ellenére nem találhatók olyan tanulmányok, amelyek rostélyos tüzelőberendezésekben képalapú felügyeleti rendszer alkalmazhatóságát vizsgálnák.

Jelen kutatómunkában egy valós idejű lángképfeldolgozáson alapú reakció zónát helymeghatározó és nyomon követő felügyeleti rendszer alkalmazását mutatjuk be egy 3 MW névleges hőteljesítményű rostélyos, faapríték tüzelésű kazánon, valamint a reakció zóna helyzetéből nyert információk és üzemi és emissziós paraméterek között fennálló kapcsolatok vizsgálatát



1. ábra. **A biomassza égési szakaszainak és a kamera elhelyezésének vázlata a kísérletek során vizsgált 3 MW hőteljesítményű, rostély-tüzelésű kazánon**

Eszközök és képalkotás

A 12 órás időtartamot lefedő kísérlet során felhasznált kazán egy 3 MW névleges hőteljesítményű ferde, bolygatott rostélyos típusú, faapríték tüzelésű berendezés volt. A tüzelőanyag és a füstgáz áramlási iránya alapján a rendszer ellenáramú [16]. A tüzelőberendezés sematikus rajzát 1. ábra mutatja. A 2014-ben újonnan létesített kazán egy fűrészüzem fűtési és technológiai célú hőenergiáját biztosítja, míg az üzem a kazán tüzelőanyag ellátását, a fafeldolgozás során keletkező fahulladékok (háncs, kéreg, lehulló darabok) hasznosításával.

A tüzelőberendezés az elosztott folyamatirányító rendszerébe integrált on-line mérőrendszerrével számos üzemi paramétert felügyel, mint például: tűztérhőmérséklet, visszatérő és előremenő vízhőmérséklet, égési levegő ventilátor, kazán kapacitás, rostélymozgatás, tüzelőanyag adagolás és hamukihordás hidraulikus nyomása. A kazán online mérőrendszere mellett egy nagy pontosságú, hordozható Vario Plus Industrial típusú füstgázelemző is felhasználásra került az emissziós paraméterek mérésére a kísérlet során. Az elemző eszköz szimultán mérte a füstgáz O_2, CO_2, CO és NO_X tartalmát.

A lángképalkotás egy CCD szenzoros Basler Ace acA1300-172 22gc típusú digitális kamerával történt. Ezen kamera típus alkalmazása mellett szólt, hogy a képalkotó technológiák közül a legelterjedtebb módszernek számít gyakorlati alkalmazás szempontjából. Számos eddigi kutatómunka alapját képezi, mivel robosztus, költséghatékony és megbízható [6]. Az adott képkocka méret mellett, másodpercenként 13 képkocka került rögzítésre (13Hz) állandó 0,75 ms expozíciós idővel, annak érdekében, hogy éles képeket kapjunk pixel szaturáció nélkül.

Korábbi tanulmányokból is kiderült, hogy a legnagyobb nehézséget a hardver tűztérbe való telepítése és az eszköz magas hőmérséklettől és a szálló portól való megvédése okozza [7]. A képalkotáshoz magas hőmérsékletű, ipari pinehole lencse (Marshall Electronics V-ZPL-HITEMP-B-323) került alkalmazásra. A kísérlet során alkalmazott 3,6 mm-es fókusztávolság körülbelül 80°-os látószöget eredményezett. A lencsét gyárilag egy 323 mm hosszú rozsdamentes acél ház vette körül. A kamerát és a lencsét egy saját tervezésű cső a csőben típusú hűtőrendszer és az ebben folyamatosan hűtőközegként áramoltatott komprimált levegő védte a tűztérben uralkodó magas hőmérséklettől. A kamera által rögzített lángképre 2.a ábra mutat példát, jelölve az adagoló nyílás és a rostély helyét. A lencsevégen a kezdeti porlerakódásból fakadó problémákat a rozsdamentes acél ház elülső részén kialakított 1-2 milliméteres furatok oldották meg. Így gyakorlatilag, a házból a lencsevégnél távozó komprimált hűtési levegő folyamatosan tisztántartotta a lencsét. A tűztérbe jutó levegő a furatok nagysága miatt elhanyagolható, így nem befolyásolta a tüzelést. Az alkalmazott hűtési megoldással a lencse és a kamera hőmérséklete állandó 30 °C alatt volt tartható.

Adatfeldolgozás

A lángképek előfeldolgozása során első lépés a színcsatorna szeparáló művelet (demosaicing) volt, amivel a képek RGB színtérbe kerültek [5]. Ezt követően az egyes színcsatornák (piros, zöld és kék) különböző adat vektorokba helyezése következett. A szegmentáció és a reakció zóna helymeghatározása céljából a továbbiakban csak a piros színcsatorna került alkalmazásra. Mivel a másik két színcsatorna nem hordoz jelentősebb plusz információt a reakció zóna alakját illetően, így ezeket felhasználása mellőzésre került.

A reakció zóna helymeghatározásához, ahol is az intenzív égés zajlik a láng határvonalának detektálása szükséges, annak is azon része, ahol az izzó tüzelőanyag és a már kiégett tüzelőanyag találkozik a rostélyon. Ez a feladat él detektáló algoritmus alkalmazásával lehetséges.

Annak érdekében, hogy a kapott reakció zóna határvonalának folytonosságát és simaságát elérjük úgynevezett Aktív Kontúr Modell (Active Contour Model, ACM) alkalmazása volt célszerű hagyomá-

nyos operátorok helyett [20], amely a deformálható görbék - melyek különböző hatások eredményeképp alakulnak ki – és azon belül parametrikus és energiaminimalizáló szegmentációs algoritmusok csoportjába tartozik. Az ACM népszerű technika olyan gépi látás alapú alkalmazásokban, ahol tárgy követés, alakfelismerés, szegmentáció, él detektálás vagy éppen sztereó illesztés a megoldandó feladat [8]. Jelen kutatómunkában az ACM technika egy módosított verziója került alkalmazásra. Ez a fajta technika kellően gyors számítást és ezáltal valós idejű működést tesz lehetővé. A kutatás során alkalmazott modell, a jelen alkalmazáshoz szükséges módosításokat leszámítva, hasonló a Kass, Witkin és Terzopoulos úttörő, alap munkájában leírtakkal [8]. Az elvégzett szegmentációs eljárásnak egy tipikus eredményét a 2.a ábra mutatja. Látható, hogy az alkalmazott algoritmus helyesen képes meghatározni a reakció zóna helyét a rostélyon, amit fehér folytonos vonal jelöl.

A reakció zóna határvonalának valóságos, pontos helyzetét a lángképből, geometriai transzformációk projektív lineáris csoportjának alkalmazásával határoztuk meg [3]. Az egyes transzformációs lépések eredményei egy a kamera által rögzített lángképen a 2. ábra sorozatban kerültek bemutatásra.

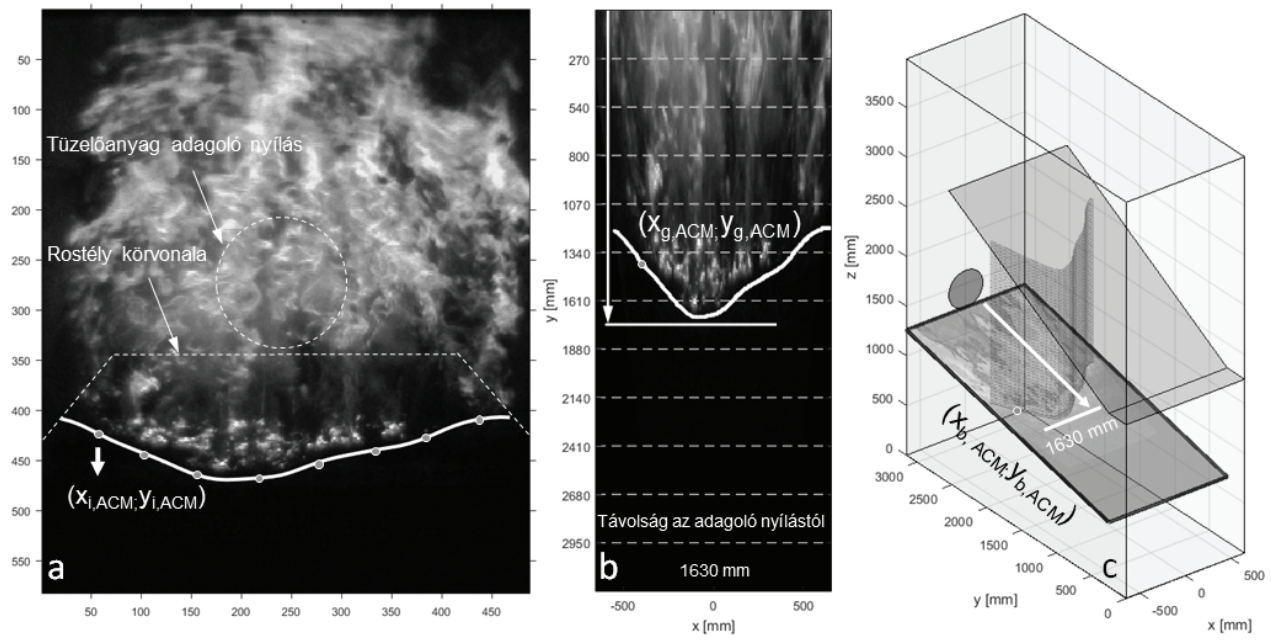
A lángkép és a kapott reakció zóna határvonal koordináták torzításának megszüntetésre, ami a kamera perspektív projekciójából adódott, és a rostély felülnézeti koordináta rendszerébe való helyezéséhez a legösszetettebb, 8 szabadsági fokú lineáris transzformáció került alkalmazásra. A transzformáció eredménye a 2.b ábra részében látható. Amint látható, a kapott koordináták reálisan illeszkednek a rostély koordinátarendszerébe, amelyben a rostély egyes elemei szaggatott vonallal kerültek jelölésre. Végül a kapott koordináták a tüzelőberendezés koordinátarendszerébe való transzformálása következett, és egyben a reakció zóna határvonalának 3D-s rekonstrukciója, annak érdekében, hogy vizuálisan láthatóvá váljon a reakció zóna pontos helyzete a tűztér egyes részeihez képest és ezáltal könnyen értelmezhető legyen a tüzelőberendezés kezelőszemélyzete által. A 2. ábra alapján látható, hogy transzformációs lépések elvégzésével a reakció zóna valós fizikai távolsága könnyen meghatározható és mérhető az operátor vagy a vezérlő rendszer által.

Eredmények

Következőkben a felügyeleti rendszer hatékonyságát vizsgáljuk. A rendszer pontosságának számszerűsítése érdekében a helymeghatározás bizonytalanságát elemeztük elsőként. Ez olyan periódusokat érintetett, ahol a tüzelőberendezés perceken keresztül stabil üzemállapotot mutatott, azaz nem volt tüzelőanyag adagolás és rostély mozgatás. A vizsgálat eredménye azt mutatta, hogy a felügyeleti rendszer által detektált koordináták átlagosan 1,7 pixel változtak, ami a valóságban 5 mm-t jelent. A rostély mozgatása közben rövid ideig tartó, erős kiporzást észleltünk. Habár ezen esetek a láng láthatóságát csökkentik a képeken, azonban a tapasztalatok alapján jelentősen nem befolyásolják a detektálás hatékonyságát. Ezért biztonsággal állítható, hogy alkalmazott aktív kontúr szegmentációs eljárás robosztus.

A reakció zóna tüzelőanyag adagoló nyílástól mért távolságának egy értékkel való jellemzése praktikus lehet az elemzés szempontjából vagy akár vezérlő jelként való alkalmazása. Azonban a reakció zóna 2 dimenziós határvonal koordinátáinak redukciója nem mondható triviálisnak. A 2. ábrában a $y_{g,ACM}$ koordináták legnagyobb értéke adta a távolság mérés alapját. Azonban ez a koordináta igen érzékeny a zajokra, ezért a vizsgálat további részében az $y_{g,ACM}$ koordináta halmaz k-adik percentilisei jellemzik a reakció zóna helyzetét. Ez alapján p_0 a minimuma, p_{100} a maximuma és p_{50} az átlaga az adott ponthalmaznak.

Folytatva a megbízhatósági elemzést, a felügyeleti rendszer működésének hatékonysága a tüzelőberendezés 3 órás működési időintervallumában került vizsgálat alá. Ezen időtartam során számos fellépő kisebb probléma és szélsőséges állapot tette próbára a reakció zóna helyes helymeghatározását az alkalmazott algoritmussal. A vizsgálat eredménye a 3. ábrában látható, amelynek első sorában a p_{50}, p_{100}, kazán kapacitása, valamint a bináris tüzelőanyag adagolás és a rostély mozgatás jelei kerültek ábrázolásra az idő függvényében. Az ábráról számos következtetés vonható le. Először is, a vártaknak megfelelően, látható, hogy a kapott reakció zóna határvonal koordinátáinak percentilisei követik a tüzelőanyag adagolás és a rostély mozgatás jeleit, mindkét jel esetén a reakció



2. ábra. **Reakció zóna határvonal koordinátáinak meghatározása: a) reakció zóna határvonalának lokalizált koordinátái a lángkép koordináta-rendszerében; b) a reakció zóna transzformált koordinátái a rostély koordináta rendszerébe; c) a reakció zóna 3D-s rekonstrukciója a tüzelőberendezés sematikus rajzában**

zóna a hamutároló felé szétterjedve folyamatosan halad a vártaknak megfelelően. Ezzel szemben, a tüzelőanyag adagolás és a rostély mozgatás szüneteltetésekor, amikor a számított kazán kapacitás nulla és ezáltal nincs égési levegő hozzávezetés, a reakció zóna hátrálása, azaz az adagoló nyílás felé való mozgása tapasztalható.

3. ábra alsó két sorában a-h-ig pillanatfelvételeket láthatók a tűztérről, ezen lángképek az ábra első sorban lévő diagram teli körökkel jelölt állapotaihoz tartoznak. A pillanatfelvételek célja az üzemelés során jellemzően fellépő problémás és szélsőséges esetek illusztrálása és azok vizsgálata.

3.a ábra pillanatfelvétele olyan esetet mutat, amikor p_{50} és p_{100} értéke is hirtelen és jelentősen lecsökken. Jelen esetben a tűz kialvásáról van szó, amelyet a rostélyelemek egyidejű mozgása okozta égési levegőhiány váltott ki. Ezen téves értelmezés könnyen detektálható és egyben korrigálható mozgó átlag szűrővel.

3.b ábra egy olyan esetet mutat, amikor p_{50} és p_{100} is növekszik, azonban p_{100} sokkal jelentősebb mértékben. Ez akkor fordul elő, ha a detektálás során a reakció zónát képző izzó tüzelőanyag ágyból egy parázs darab leszakad. Ez adódhat abból, hogy egy távolabbi rostély elemre pereg a parázs darab rostély mozgatás következtében. A p_{100} kiugrásának gyors megszűnése azzal magyarázható, hogy a parázs darabnak nagy a szabad felülete, ezért gyorsan és nagy intenzitással ég ki. Ezen hamis esetek könnyen kategorizálhatók és kiszűrhetők a reakció zóna határvonal helyzetének percentilis jeleiből.

3.c egy olyan esetet mutat, amikor a p_{100} és a p_{50} között hosszabb ideig nagy különbség állt fennt. Ezt a különbséget láthatóan a reakció zóna front egyenetlen U alakja okozta. Ez az alak hangsúlyosan ugyan nem látszik a perspektív torzítás miatt, azonban a valóságban a rekació zóna határvonal koordinátáinak átlaga (p_{50}) és az adagoló nyílástól mért legtávolabbi pontja (p_{100}) között a különbség 300 mm. Az U alakú reakció zóna front a rostélyon lévő tüzelőanyag egyenetlen eloszlását jelzi, amely számos okból hátrányos. Egyenlőtlen tüzelőanyag eloszlás az ágyban kialakuló „lyukakhoz" vagy felgyűlt vastag, tüzelőanyagban túlzottan gazdag területekhez vezet, ahol az égési levegő nem képes áthatolni a vastag faapríték rétegeken [21]. A rostély elemek élettartama nagyban függ a tűzálló rostély hűtésétől, amit az égési levegővel lehet megvalósítani. Ezért az égési levegő rostély elemek közötti feláramlásának akadályozása a rostély idő előtti tönkremeneteléhez vezethet.

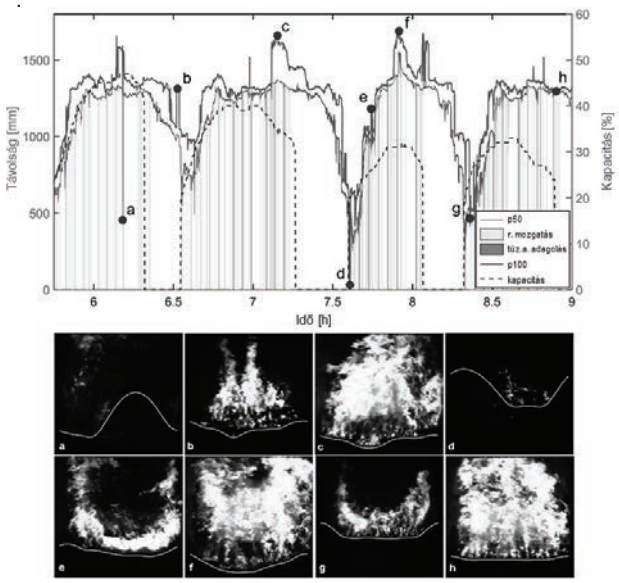
3.d ábra a láng teljes kialvását mutatja. Ilyen eset akkor következik be, amikor is a szabályozó kör a kapacitást nullára csökkenti és engedi szabadon futni a rendszert, ami közben a rostélyon lévő tüzelőanyag folyamatosan visszaég és kialvás közelébe kerül.

A 3.e ábra egy olyan esetet mutat, amely elsőre rendellenesnek tűnhet, azonban, csak arról van szó, hogy a reakció zóna gyors ütemben halad előre, kissé U alakot képezve a rostély jobb oldala irányában. Emellett az is megfigyelhető, hogy a frissen beadagolt tüzelőanyag a reakció zóna hevesen égő középső részét befedi, ami következtében a fentebb említett állapot áll elő, tehát középen a vastag tüzelőanyag réteg miatt az égési levegő akadályba ütközik, míg a széleken intenzív égés marad fenn, mivel a levegő útja nincs akadályoztatva.

3.f ábra pillanatfelvétele olyan reakció zóna frontot mutat, amelyet szintén U alak jellemez, azonban kisebb mértékűt mint 3.c ábra, mivel a p_{50} és a p_{100} értékek közelebb vannak egymáshoz.

3.g-h ábra időpillanatai teljesen eltérő üzemállapotot jelölnek, ahol a p_{50} és p_{100} értékeik között kicsi különbségek tapasztalhatók, aminek eredményeképpen lapos és egyenletes reakció zóna határvonal jellemzi a két különböző üzemállapotot, ami egyben két különböző kiterjedést is jelent. 3.c ábrával szemben p_{50} és p_{100} között lévő különbség itt csak 10 mm.

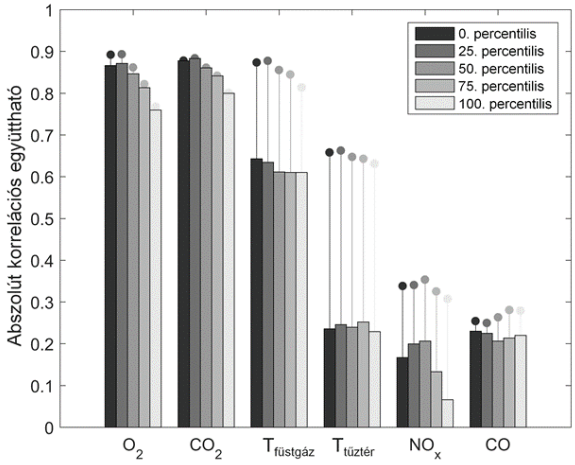
Összefoglalva a felügyeleti rendszer megbízhatóan ugyanakkor apróbb hibákkal, amelyek könnyen azonosíthatók és szűrhetők, képes volt követni a reakció zóna mozgását. Továbbá a rendszer képes volt azonosítani extrém üzemi állapotokat és nemkívánatos tüzelőanyag eloszlásokat, amelyek csökkentik mind a hatékonyságot mind a rostélyelemek élettartamát.



3. ábra. **p_{100} és p_{50} változása a bináris tüzelőanyag adagolás és rostély mozgatás hatására az idő függvényében: a) rostély mozgatás porfelhőképződéssel; b-c) rostély mozgatás izzó tüzelőanyag ágyból levált parázzsal; d) láng kialvása; e-f) U alakú reakció zóna határvonal; g-h) egyenletes reakció zóna határvonal különböző üzemállapotban**

Ahogyan a bevezetőben is említettük, a lángképből nyert geometriai paraméterek jól ismerten kapcsolatban állnak a tüzelés körülményeivel és a károsanyag-kibocsátásokkal, valamint a fennálló kapcsolat erősségétől függően ezeket felhasználva lehetőség van modell alapú szabályozó rendszer megvalósítására. Ennek tükrében érdemes vizsgálni a reakció zóna határvonal koordináták helyzetét jellemző percentilisek és jelentősebb üzemi paraméterek közötti kapcsolatot. A fennálló kapcsolatok erősségének számszerűsítése érdekében a lineáris korrelációs együtthatók meghatározása történt. A paraméterek kiválasztása a tüzelési folyamatban betöltött jelentőségük alapján történt. A paraméterek között szerepelt a füstgáz O_2 és CO_2 tartalma, a tűztér hőmérséklete, szennyezők koncentrációja a füstgázban, nevezetesen az NO_x és a CO. Az elemzés eredményét a 4. ábra foglalja össze. A legtöbb percentilis és a főbb füstgázösszetevők esetében 0,8 feletti abszolút értékek adódtak. A füstgáz hőmérséklet esetében ennél kevesebb, 0,6 körüli érték adódott. Míg a tűztérhőmérséklet és a füstgáz szennyezői esetében már csak 0,2 körüli abszolút korrelációs együtthatók. Ezzel szemben, keresztkorrelációs elemzést alkalmazva, vagyis olya módon meghatározva a korrelációs együtthatókat, hogy a jelek közti időeltolódást kiküszöböljük és a jeleket szinkronizáljuk, a füstgáz hőmérsékletének, a tűztérhőmérsékletének és a füstgáz NO_x tartalmának korrelációs együtthatója jelentős, míg a füstgáz CO tartalma esetében csekély mértékű növekedést mutatott. A keresztkorrelációs analízis

eredménye szintén a 4. ábrában került ábrázolásra, ahol a kapott korreláció együtthatók teli körökkel kerültek eljelölésre. A kapott eredmények alapján megállapítható, hogy a reakció zóna határvonal koordinátáinak percentilis értékei felhasználhatók üzemi paraméterek becslésére vagy tüzelési folyamatot vezérlő jelként. Mivel az időeltolódás többnyire a felügyelt rendszer sajátos jellemzőitől és annak üzemeltetésének gyakorlatától függ, így értékük könnyen meghatározható és ennek megfelelően beállíthatók a jelek. Ezeken felül, a szennyezők és a reakció zóna határvonal koordinátái között megállapított korrelációs együttható értékek szintén azt mutatják, hogy akár megfelelőek lehetnek felügyeleti vagy vezérlési célokból.



4. ábra. **Abszolút korreláció az emissziós, az üzemi paraméterek és a reakció zóna helyzete között**

Következtetések, javaslatok

Jelen kutatómunkában egy gépi látás alapú reakció zóna felügyeleti rendszer alkalmazhatóságát és annak potenciális előnyeit vizsgálatuk. Az alkalmazott felügyeleti rendszer vizsgálata egy szakaszos üzemű, 3 MW hőteljesítményű, bolygatott rostélyos, biomassza tüzelésű kazánon történt. A vizsgálat 12 órás adatgyűjtést fedett le, amely során a tüzelőanyag minősége és a kazán hőteljesítménye is folyamatosan változott. A felügyeleti rendszer feladata volt a mozgó reakció zóna rostéllyal érintkező, elülső (vezető) határvonalának helymeghatározása és nyomon követése. Az elemzés során megállapítottuk, hogy az alkalmazott technika megbízhatóan képes lokalizálni a reakció zóna határvonalát a rostélyon, eltekintve pár szélsőséges esettől, amelyek egyszerű módszerekkel kezelhetők. Az így nyert információk már a kezelőszemélyzet számára is könnyen értelmezhetők és felhasználhatók a tüzelés optimalizálása céljából. Bebizonyítottuk, hogy a kapott reakció zóna határvonalának helyzetei erős kapcsolatban állnak számos fontos folyamati paraméterrel. A keresztkorrelációs vizsgálat alátámasztotta, hogy a reakció zóna helyzete és az üzemi paraméter jelek között számottevő időbeli eltolódás áll fenn. Az így kapott korrelációs együtthatók értéke 0,8 felettinek adódott a reakció zóna helyzete és a füstgáz O_2, CO_2 tartalma és annak hőmérséklete között, és megközelítőleg 0,7 a tűztér hőmérséklet esetében, míg a szennyezők, mint például a füstgáz NO_x és CO tartalma esetében ez az érték 0,3 körülinek adódott. Kutatásunk során elért eredményekből arra lehet következtetni, hogy az alkalmazott módszer a jövő felügyeleti és vezérlő rendszerek egyik fontos részét képezheti, amely független mérései alapján képes rostélyos berendezések működését hatékonyabbá tenni mind a káros-anyag-kibocsátás, mind a gazdaságos üzemelés szempontjából.

Köszönetnyilvánítás

A tanulmányban ismertetett kutatómunka az Emberi Erőforrások Minisztériuma ÚNKP-17-3 kódszámú Új Nemzeti Kiválóság Programjának támogatásával és az EFOP-3.6.1-16-00011 jelű „Fiatalodó és Megújuló Egyetem – Innovatív Tudásváros – a Miskolci Egyetem intelligens szakosodást szolgáló intézményi fejlesztése" projekt részeként – a Széchenyi 2020 keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

Irodalomjegyzék

[1] Woon Bo Baek, Sung Jin Lee, Seung Yeob Baeg, and Chang Ho Cho. Flame image processing and analysis for optimal coal firing of thermal power plant. In Industrial Electronics, 2001. Proceedings. ISIE 2001. IEEE International Symposium on, volume 2, pages 928–931. IEEE, 2001.

[2] Javier Ballester and Tatiana Garcá-Armingol. Diagnostic techniques for the monitoring and control of practical flames. Progress in Energy and Combustion Science, 36(4):375–411, 2010.

[3] Philippe Cattin. Introduction to signal and image processing. 2016.

[4] Massimo Chimenti, Carlo Di Natali, Gaudenzio Mariotti, Enrico Paganini, Gabriele Pieri, and Ovidio Salvetti. An ir image processing approach for characterising combustion instability. Infrared physics & technology, 46(1):41–47, 2004.

[5] Adrian Davies and Phil Fennessy. Digital imaging for photographers. Taylor & Francis, 2001.

[6] A González-Cencerrado, B Peña, and A Gil. Experimental analysis of biomass co-firing f lames in a pulverized fuel swirl burner using a CCD based visualization system. Fuel Processing Technology, 130:299–310, 2015.

[7] R Hernandez and J Ballester. Flame imaging as a diagnostic tool for industrial combustion. Combustion and flame, 155(3):509–528, 2008.

[8] Michael Kass, Andrew Witkin, and Demetri Terzopoulos. Snakes: Active contour models. International journal of computer vision, 1(4):321–331, 1988.

[9] Jaap Koppejan and Sjaak Van Loo. The handbook of biomass combustion and co-firing. Routledge, 2012.

[10] N Kurihara, M Nishikawa, A Watanabe, Y Satoh, K Ohtsuka, H Miyagaki, T Higashi, and T Masai. A combustion diagnosis method for pulverized coal boilers using flame-image recognition technology. IEEE Transactions on Energy conversion, (2):99–103, 1986.

[11] G Lu, G Gilabert, and Y Yan. Vision based monitoring and characterisation of combustion flames. In Journal of Physics: Conference Series, volume 15, page 194. IOP Publishing, 2005.

[12] G Lu, Y Yan, Y Huang, and A Reed. An intelligent vision system for monitoring and control of combustion flames. Measurement and control, 32(6):164–168, 1999.

[13] Jorge S Marques and Pedro M Jorge. Visual inspection of a combustion process in a thermoelectric plant. Signal processing, 80(8):1577–1589, 2000.

[14] Lasse Rosendahl. Biomass combustion science, technology and engineering. Elsevier, 2013.

[15] Apichart Tuntrakoon and Suwat Kuntanapreeda. Image-based flame control of a premixed gas burner using fuzzy logics. In International Symposium on Methodologies for Intelligent Systems, pages 673–677. Springer, 2003.

[16] John Vos. Biomass energy for heating and hot water supply in belarus. Contract Report (BYE/03/G31), BTG, 2006.

[17] Yong Yan, Gang Lu, and Mike Colechin. Monitoring and characterisation of pulverised coal flames using digital imaging techniques. Fuel, 81(5):647–655, 2002.

[18] Chungen Yin, Lasse A. Rosendahl, and SÃ¸ren K. KÃ¦r. Grate-firing of biomass for heat and power production. Progress in Energy and Combustion Science, 34(6):725 – 754, 2008.

[19] Honglu Yu and John F MacGregor. Monitoring flames in an industrial boiler using multivariate image analysis. AIChE Journal, 50(7):1474–1483, 2004.

[20] Jinhua Zhang, Jian Zhuang, Haifeng Du, Xiaohu Li, et al. A flame detection algorithm based on video multi-feature fusion. In International Conference on Natural Computation, pages 784–792. Springer, 2006.

[21] Yiming Zhu, Yanqing Niu, Houzhang Tan, and Xuebin Wang. Short review on the origin and countermeasure of biomass slagging in grate furnace. Frontiers in Energy Research, 2:7, 2014.

A környezetbarát fatüzelés

Szilágyi Zsombor
mérnök; drszilagyizsombor@freemail.hu

Az extrém időjárási jelenségek megerősítik azt a feltételezést, hogy olyan klímaváltozás időszakát éljük át, amelyet a légkörbe kerülő szennyező anyagok egyre növekvő mennyisége okoz. Felismerték ezt a világ legtöbb országában, és programokat fogadtak el a légkör védelmére: a cél elérése érdekében a megújuló energiaforrások használatát szorgalmazzák. Magyarországon a szilárd biomassza a legelterjedtebb megújuló energiahordozó, azon belül is a fatüzelés. Cikkünkben a fatüzelés műszaki, gazdasági és környezetvédelmi kérdéseit tekintjük át.

A légkör védelme sürgető feladat lett az egész világon, mert a légkör átlagos széndioxid tartalma 400 ppm fölé emelkedett. A széndioxid-tartalom emelkedése a légkör átlaghőmérsékletének emelkedését is előidézi, ennek pedig beláthatatlan következményei lehetnek. A nemzetközi összefogásban vannak még lyukak, de a szándék eléggé egységes: fékezzük a széndioxid levegőbe kerülését. A légszennyezettség miatt csaknem 400 ezren haltak meg 2014-ben az Európai Unióban [2], az egész világon pedig az Egészségügyi Világszervezet (WHO) szerint évente 3 millió ember. A világméretű összefogás a széndioxid-szintre koncentrál, pedig a légkörbe még számtalan olyan szennyező anyag kerül, ami a földi életkörülményekre, az emberek egészségére sokkal veszélyesebb. Ma már naponta láthatjuk a légkör szennyezettségének és a hőmérséklet-emelkedésének különböző következményeit: soha nem látott rovarok, káros növények jelennek meg Európában, extrém időjárási jelenségek tesznek beláthatatlan károkat Magyarországon is, a mezőgazdaság is igazolni tudja az elsivatagosodás jeleit, és áramlik a lakosság az élhetetlen (afrikai) térségekből Európába.

A fűtési időszakban a városok legtöbbjénél gyakran alakul ki fullasztó légkör, szmog, a fa- és széntüzelés egyre nagyobb használata miatt.

A klímavédelemért azzal tehetünk a legtöbbet, ha korlátozzuk a levegőbe kerülő üvegház hatású gázok (első sorban a széndioxid) és a por mennyiségét. A NOAA Earth System Research Laboratory mérései alapján a légkör átlagos CO_2 tartalma rohamosan nő:

1. táblázat. A légkör átlagos CO_2 tartalma (ppm):

Év	1960	1970	1980	1990	2000	2010	2016
CO_2 tartalom	310	322	335	354	368	387	404

Kutatók azt vélik, ha a széndioxid átlagos koncentrációját 420 ppm alatt sikerül tartani, akkor elérhető, hogy a Föld átlagos hőmérséklete ne emelkedjen 2 ºC-nál nagyobb mértékben (1900 évhez képest). Ez a 2 ºC is nagyon sok.

Az Európai Unió határozott programot adott ki az üvegházhatású gázok (ÜHG) kibocsátásának csökkentésére:

1. táblázat. Az ÜHG kibocsátás csökkentése 1990-hez képest (%) [1]

	2005	2030	2050
Összesen	-7%	-40...44%	-79...82%
lakosság, fogyasztás, szolgáltatások	-12%	-37…53%	-88…91%

A légkör védelmére a legtöbb intézkedést eddig az Európai Unió tette. Hazánk is aktív programot készített az energia felhasználás csökkentésére, az energiahordozó szerkezet átalakítására, a környezet védelmére. A Nemzeti Energiastratégia 2030 program [1] három forgatókönyvet készített a következő évekre:

„A" változat: ölbe tett kéz forgatókönyv, a címe is utal arra, hogy nem nagyon teszünk az energia felhasználás ésszerűsítéséért

„B" változat: közös erőfeszítés forgatókönyv: már cél az energia felhasználás csökkentése

„C" változat: zöld forgatókönyv: határozott lépések a megújuló energiahordozók gyors terjesztésére és az energia takarékosságra

3. táblázat. Primerenergia felhasználás forgatókönyvek (PJ) [1]

Év	2008	2020	2020	2020	2030	2030	2030
változat		A	B	C	A	B	C
lakosság*	269	302	218	203	304	193	163
villamos energia	144	182	158	159	219	198	178
végső energia felhasználás	767	943	760	712	1038	763	678
primer energia felhasználás	1126	1349	1113	1059	1476	1147	1034

*az adat a lakosság, a szolgáltatások és a közintézmények energia felhasználását tartalmazza

A lakosság és a közintézmények komoly súlyt képviselnek az ország energia felhasználásában. Ugyanakkor itt észlelhetők a legjelentősebb előrelépések az energia takarékosságban és a megújulók fokozottabb használatában.

A megújuló energiahordozók gyorsabb elterjedésének eddig két jelentős akadályával találkoztunk:

- a megújulók használatának energetikai hatásfoka elmarad a fosszilis tüzelőanyagokétól,
- a megújulók használatára átállás erősen beruházás igényes, hosszú megtérülési idővel, ezért állami támogatás nélkül nehezen finanszírozható.

A magyar megújuló energiaforrások potenciálja a következő (PJ):

Megújuló energiaforrás	Potenciál
napenergia	1838
vízenergia	14,4
geotermia	63,5
biomassza	203-328
szélenergia	532,8
összesen	2600-2700

A biomassza potenciál megoszlása:

bioetanol	1330 ezer tonna/év
biodízel	250 ezer tonna/év
szilárd	188 PJ/év
biogáz	25 PJ/év

A Nemzeti Energiastratégia az IEA és az Energy Watch Group prognózisa alapján a beruházási költségek gyors csökkenésével számol, a megújulók hasznosítási hatásfokának gyors növekedése és a gyártástechnológiák fejlesztése eredményeként:

4. táblázat. A megújuló energiahordozók beruházási költségeinek változása (%) [1]:

	2010	2030	2030
változat		pesszimista	optimista
biomassza	100	85	81
szélenergia	100	75	63
geotermia	100	87	85
biogáz	100	84	80
napkollektor	100	70	68
napelem	100	35	30

Néhány tudnivaló a fatüzeléshez

Magyarország erdő- és faállománya

Magyarország erdőállománya

erdőterület: 1 939 719 hektár (2016-ban)
ebből gazdasági rendeltetésű: 1 194 085 hektár

Magyarország erdőinek faállománya

- élőfa készlet: kb. 325,2 millió m^3
  az erdőben elpusztuló faállomány: kb. 1,8 millió m^3/év
  éves faállomány növekmény: 12-13 millió m^3/év
- évente kitermelhető 9-10 millió m^3, ennek kb. 50%-a tűzifa, és 95%-a lombos fa
- a kitermelés 2016.-ban 7,1 millió m^3 volt

Az erdőkből kitermelt fa 80-85%-a kereskedelmi forgalomba kerül.

A tűzifa vásárlása

A tűzifát a kereskedelemben térfogatra vagy tonnára árusítják. Mivel a fa víztartalmát ránézésre nem lehet megállapítani, ezért célszerű a tűzifát térfogatra vásárolni. A tűzifa ára függ a fa fajtájától, ajánlott azonban, hogy csak keményfát (tölgy, cser, bükk, akác) vásároljunk a tüzelőberendezéseink kímélése érdekében is.

A fatüzeléses háztartási kazánok hatásfoka

A fatüzelésű kazán hatásfoka alacsonyabb, mint a gázkészüléké. A korszerű fatüzelésű háztartási fűtőberendezések 70% összhatásfok felettiek de a régebbi gyártásúak is 60% felett üzemelnek, a faelgázosító kazánoknál pellet- és brikett-tüzelésnél pedig a hagyományos értelemben vett hatásfok meghaladhatja a 80%-ot is. A tüzelőanyag víztartalma azonban közvetlenül befolyásolja a kazán hatásfokát. Az alacsonyhőmérsékletű gázkazánok hatásfoka 90% feletti.

A látvány tüzelőberendezések (például kandallók) hatásfokát nem szokták vizsgálni.

Az Európai Unió a 2015/1185 számú rendeletében szabályozza a szilárdtüzelésű fűtőberendezések hatásfokát is. 2018-ban már csak azok a fatüzeléses berendezések hozhatók forgalomba, melyek eleget tesznek ennek a rendeletnek.

Az EU a biomassza tüzelésű egyedi fűtőkészülékek fejlesztését tűzi ki célul, az üzem közbeni energiafogyasztás csökkentése, és az üzem közben kibocsátott por, gáznemű szerves vegyületek, szénmonoxid, nitrogén oxidok mérséklésére. A rendelet vonatkozik a közvetett vízmelegítőkre is. A fejlesztési célok teljesítését 2022-ig irányozza elő az EU.

A szabályozás célja az, hogy a szilárd tüzelésű egyedi helyiségfűtő készülékek az EU-ban 2010-ben becsült 627 PJ energiafogyasztása 2030-ra 812 PJ-ra nőhet, ugyanakkor ezeknek a tüzelőberendezéseknek a széndioxid kibocsátása 9,5 millió tonnáról 8,8 millió tonnára csökkenhet. Cél a por kibocsátás (PM) csökkentése is: a 2010. évi 142 ezer tonna értékről 2030-ra 94 ezer tonnára. Hasonló eredményt várnak az intézkedésektől a gáznemű szerves vegyületek levegőbe kerülésére is: a 2010. évi 119 ezer tonna 2030-ra 49 ezer tonna lehet. A cél az is, hogy a szénmonoxid kibocsátás a 2010. évi 1,658 millió tonnáról 1,433 millió tonnára mérséklődjön.

Az EU olyan energiafogyasztást csökkentő műszaki megoldások alkalmazását sürgeti, amelyek nem növelik meg a tüzelőberendezések gyártása költségeit.

A rendelet szerinti intézkedések 2030-ig 41 PJ energia megtakarítást is eredményezhetnek.

Néhány fejlesztési követelmény a rendelet szerint:

- a nyitott égésterű helyiségfűtő berendezés szezonális hatásfoka legalább 30% legyen, zárt égésterű tüzelőberendezéseknél legalább 65%.
- a pellet tüzelésű zárt égésterű fűtőberendezés szezonális hatásfoka 79% feletti legyen
- a sütő-főző berendezések szezonális hatásfoka is 65%-nál magasabb legyen
- a por kibocsátás
  – nyitott égésterű egyedi helyiségfűtő készüléknél 50 mg/m^3 alatt legyen
  – pellet tüzelésű zárt égésterű készüléknél 20 mg/m^3-nél nem lehet több

A fa vegyi összetétele

Kb. 50 % szén, kb. 43 % nitrogén, kb. 6 % hidrogén, nitrogén és ásványok, kén csak nyomokban.

A fa a növekedése során a levegőből széndioxidot von ki, és annak jelentős részét beépíti saját anyagába (szén formájában). Az ősszel lehulló falomb, az elszáradt ágak ebből a széntartalomból egy részt visszavisznek a talajba. Ha a fa hasznosítás nélkül az erdőben porlad el, akkor éppen annyi széndioxidot bocsát a levegőbe, mintha eltüzeltük volna, emellett még metánt is termel. A fatüzelést azért tekintik környezetbarát, megújuló energiatermelésnek, mert a fa élete során éppen annyi széndioxidot kötött meg, mint amennyi az eltüzelésekor a légkörbe távozik.

A fa égése

Fázisok:

- víztartalom elpárologtatása kb. 100 ºC-on, a fa zsugorodik, repedezik, és hőt vesz fel (a víz párolgáshője: 0,64 kWh/kg)
- bomlási folyamat: a molekulák bomlanak, hasadnak, 100-200 ºC-on, hőfelvétel mellett
- pirolízis, gázosodás, a fa égése folyamatos, 260-1000 ºC között, hőtermelés, szenesedés
- faszén égése 500-800 ºC-on, hőtermelés

A fatüzelés égéslevegő szükséglete: 10 kg légszáraz fához 30-40 m^3 levegő kell.

A fa eltüzelésekor a levegőbe kerülő égéstermékek [2]

Aerosol, kisméretű szálló por

Egy kilogramm légszáraz tűzifa elégetésekor kb. egy dekagramm por kerül a füstgázzal a levegőbe. A szálló por szemcsemérete, és hatása a következő lehet:

- „particulate matter": kisméretű, belélegezhető szálló por, a részecskék mérete 2,5…10 µm közötti. A porrészecskék felületéhez mérgező, esetenként rákkeltő anyagok kötődnek. Ezeket a részecskéket az orr- és garatüreg, a gégefő és a légcső általában leköti, és köhögéssel kiürülhet.
- tüdőbe hatoló porrészecske: mérete 1…2,5 µm. A hörgők még fel tudják fogni. Becslések szerint télen egy nap alatt 0,5…2 mg mennyiséget lélegzünk be, ez egy gyógyszer hatóanyagának is megfelelő mennyiség.
- ultra finom porrészecskék mérete kisebb, mint 1 µm. A tüdő hólyagokban ül le, nem ürül ki. A tüdőn keresztül a vérkeringésbe juthat, keringési zavarokat idézhet elő.

Az ország légterébe kerülő szállópor több, mint 65 %-át a lakossági fűtés okozza.

A szálló por 10 µm-nél nagyobb szemcséi a levegőből néhány nap alatt kiürülnek, de az ennél kisebb szemcséket csak az eső tudja leülepíteni. Addig pedig belélegezzük ezeket.

Szénmonoxid

A fatüzeléskor mindig keletkezik, különböző mértékben. Színtelen, szagtalan, erősen mérgező gáz. A levegőnél könnyebb, a szabadban felfelé áramlik, zárt térben a mennyezet alatt gyűlik össze. Kezdetben és kis koncentrációban szédülést, fejfájást, hányingert okoz. 0,1 tf % szénmonoxid tartalmú levegő perceken/másodperceken át történő belégzése biztos halálhoz vezet.

Kén-dioxid

Szerencsére a környezetünkben élő fák eltüzelésekor nagyon kevés kéndioxid kerül az égéstermékbe. A kén-dioxid a füstgáz vízgőz tartalmával kénessavat, kénsavat alkot, ami erősen maró hatású a füstjáratokra, de belélegezve az emberi szervezetre is. (Ugyanakkor a lakosság körében egyre népszerűbb lignit tüzelés igen jelentős kén-dioxid kibocsátás.)

Nitrogén-oxidok

Minden tüzelésnél keletkezik, az égéshez bevitt levegő, vagy a tüzelőanyag nitrogén-tartalmából. Irritáló hatású gáz, a légzőszervi megbetegedések egyik okozója lehet. Tartós belélegzése rákkeltő hatású. A levegő nitrogén-oxid tartalma a csapadékkal és a légkör oxigénjével salétromsavat alkot.

Aromás szénhidrogének

A legegyszerűbb aromás szénhidrogén a benzol, ami fatüzelésekor rendszerint keletkezik. Rákkeltő hatású. Tökéletlen égésnél keletkezhet ecetsav, fenol, metán, formaldehid is.

Széndioxid

A fa elégetésekor nagy mennyiségben keletkező gáznemű anyag. A levegőnél nehezebb, ezért különösen fontos a jól méretezett égéstermék-elvezető, ahol a kémény huzata a széndioxidot biztonságosan a szabadba juttatja. Zárt térben a helyiség alsó szintjén gyűlik össze, és azt belélegezve szédülést, hányingert, ájulást, majd halált okozhat. A széndioxid a mindennapi életünk része, fogyasztjuk a szénsavas italainkban is.

Vízgőz

A fa természetes víztartalma az égés során vízgőzzé alakul és a füstgázzal távozik az égéstérből.

Korom

A tökéletlen égés terméke. Részben a tüzelőberendezésben marad, részben a füstgázzal a levegőbe kerül. Különböző méretű aktív szénrészecskék alkotják.

Hamu

A tüzelőberendezésben a fatüzelésekor visszamaradó szilárd égéstermék. Kisebb mennyiségben a talaj ásványianyag pótlására használható.

Megjegyezzük, hogy a fa eltüzelésekor keletkező égéstermékek gáz vagy szilárd halmazállapotban egymással reakcióba léphetnek.

Mérlegelési szempontok fatüzelés esetén

Vitathatatlan, hogy egy családi házban a kandallóban, cserépkályhában lobogó tűz remek élmény, és különös hangulatot ad. Ezzel együtt alapos mérlegelést ajánlunk azoknak, akik új ház építésénél a fatüzelésen gondolkoznak, de azoknak is, akik a meglévő fűtést akarják lecserélni fatüzelésre:

- honnan szerezzük be a tűzifát,
- tudjuk-e a tűzifát legalább egy évig száraz helyen tárolni,
- a fűtés költségét egy évvel korábban fizetjük ki,
- mérlegeljük a fatüzelés és a más tüzelőanyag használat költségeit, munka ráfordítását, a fűtés minőségét, szabályozhatóságát, és az általa nyújtott hőkomfortot,
- a fűtéssel munka jár; győzzük-e a faaprítást, rakodást, a kazán begyújtást, a tűzifa pótlást, majd a hamuzást,
- gondolunk-e arra, hogy a fafűtéssel szennyezzük a levegőt a környezetünkben.

[1] Nemzeti Energiastratégia 2030
[2] Herman Ottó Intézet 2016: Környezetbarát fatüzelés

Tájékoztatjuk kedves Tagjainkat és a Szakmát, hogy a HKVSZ 34. Hűtő-, Klíma- és Hőszivattyútechnikai Szervizkonferenciát és az ezzel egybekötött jubileumi ünnepséget 2018. november 21-23. időpontban Visegrádon rendezi meg. A Szervizkonferencia helyszíne: Thermal Hotel Visegrad. További információ, jelentkezés: www.hkvsz.hu Programok menüpont.

A konferencia programvázlata:

November 21.
Globális környezetünk és a szakmát meghatározó szabályozási háttér.
– Nemzeti Klímavédelmi Hatóság és hatósági fórum
– Szekemberképzés
– Hűtőközegek
– Fogyasztó- és "szolgáltató"-védelem
– A hűtéstechnika szerepe a globális felmelegedés és ÜHG-kibocsátás szempontjából
– és további szakmai témák feldolgozása (este: baráti vacsora)

November 22.
Szakmai nap.
– Professzionális munkaeszközök klímaszereléshez
– Tisztatértechnológia
– Komfortérzet a légtechnikai tervezés során
– A legionella nem játék!
– Kriogén technológiák és alkalmazásuk
– Kompresszorok
– Szabályozók
– Abszorpciós készülékek fejlesztése
– Új trendek a háztartási hűtők fejlesztésénél
– és további szakmai témák feldolgozása (este: gálavacsora és jubileumi ünnepi műsor)

November 23.
Kutatás+Fejlesztés, tudástranszfer.
– A hűtős szakma jelene és jövője
– K+F lehetőségek fóruma
– Transzkritikus CO_2 rendszerek
– Nemzetközi érdekképviseleti együttműködés
– Oktatás és fejlesztés kapcsolata
– 378-as szabvány tartalmáról - közérthetően
– és további szakmai témák feldolgozása

Találkozzunk Visegrádon!
Hungarian Refrigeration and Air Conditioning Association (HRACA)
H-1191 Budapest, Ady Endre út 28-30.
tel/fax: +36/1-201-7137, mobil: 20/910-3409
info@hkvsz.hu vagy berzy.judith@hkvsz.hu

Tejipari szennyvízkezelő berendezés beállítási paramétereinek optimálása

Kovács Róbertné V.P.
mérnök, veszelov@mk.u-szeged.hu

A gazdasági résztvevők mindegyike termel szilárd, folyékony vagy gáz halmazállapotú hulladékot. Ezek kezelés nélküli fogadó környezetbe történő kibocsájtása több szempontból is veszélyes. Az anaerob fermentáció egy kedvező megoldás mind a szennyvízkezelés, mind energiatermelés aspektusából. A szerves anyag lebontásának hatékonysága növelhető a sejtfalak felbontására alkalmas fizikai, kémiai, biológiai, illetve ezeket kombináló előkezelésekkel. Folyamatos anyagtovábbítású mikrohullámú előkezelő berendezés optimális műveleti paramétereinek (magnetron teljesítmény, térfogatáram, kezelések száma) meghatározása valósult meg faktoriális kísérlettervezés segítségével.

*

Every areas of economy produce liquid, solid or gaseous pollutions. Applying them without any pretreatment is harmful for the receiving environment in many ways. Anaerobic digestion is an efficient process both for the treatment of wastewater and the energy recovery. The efficiency of digestion can be increased by disrupting the microbial cells and making organic matter inside the cell walls available. The effects of microwave pre-treatment of dairy industrial wastewater were investigated in this study. The focus of this investigation was to determine the optimum conditions in a continuous flow microwave treating system under which the microwave pre-treatment of dairy industrial wastewater would facilitate the minimum specific energy demand. A factorial design was used in order to test all the conditions and possible interactions between power of the magnetron, flow rate and number of treating.

* * *

Egy tervezési folyamat során fontos a minőség, a hatékonyság, a költségek csökkentése, a környezettudatosság, a fenntartható fejlődés és a gyors piacra kerülési idő követelményeinek szem előtt tartása. Ezen alapvető követelmények kielégítése egyre összetettebb megoldásokat kíván, melyek alkalmazásához új anyagokra és új gyártástechnológiák alkalmazására van szükség. Az ismeretlen eljárások elemzése komoly kihívások elé állítja a tervezőmérnököket és a munkájukat támogató matematikusokat, szoftvermérnököket. A meglévő tudást és a döntéshozást támogató információkat megfelelő formába kell önteni, az így kidolgozott alternatívák segítséget jelenthetnek új termékek tervezése, régi termékek továbbfejlesztése, gyártási folyamatok optimálása során.

A tervezési gyakorlatban a hagyományos optimálási technikák alkalmazása nem járható út az óriási számítás igényük miatt.

A matematika, azon belül a statisztikatudomány egyik ágának, a kísérlettervezésnek a feladata, hogy meghatározza az elvégzendő kísérletek számát, hogy az adott folyamatot befolyásoló tényezők hatásáról az optimálás tárgyára (optimálandó paraméter) a lehető legtöbb, legpontosabb információt szerezhessük, a lehető legkisebb ráfordítással. A kísérletsorozat során a folyamatot befolyásoló független változók előre meghatározott beállítási értékeit – bizonyos szabályok betartásával – változtatjuk.

A módszer lehetőséget teremt a vizsgált jelenség vagy objektum belső, oksági törvényszerűségeinek feltárására, az ok-okozati összefüggések matematikai leírására, a független változók optimális működési tartományának kiválasztására (Kemény, 2000).

A kísérlettervezési módszereket két kategóriába sorolhatjuk: a hagyományos módszerek, amelyek statisztikai kritériumokon, és az optimális kísérlettervezési módszerek, amelyek statisztikai optimumkritériumra alapulnak.

A kísérletek minimális számát az határozza meg, hogy milyen pontossággal szükséges a helyettesítő függvényt közelíteni, és mennyi interakciót kell figyelembe venni. Amennyiben a válaszfüggvényt lineárisan közelítjük, elegendő kétszintű kísérletet végrehajtani. Másodfokú függvénnyel való közelítés esetén háromszintű, míg köbös viselkedés esetén négyszintű kísérlet szükséges. (Santner, T. J. et.al., 2003)

Ha a válaszjellemzőt befolyásoló független változók (faktorok) száma nem túl nagy, és optimális működési tartományukat viszonylag egyszerű, első-, vagy legfeljebb másodfokú függvények alkalmazásával keressük, akkor a faktoriális kísérletek alkalmazása javasolt. A kísérlet tervezése azon pontok kijelölését jelenti faktortérben, amelyek beállítási értékeivel kísérletet kívánunk végezni. A teljes faktoriális tervezésnél az összes lehetséges kombinációt realizáljuk, a tényezők egyidejű változtatásával lehetőség van a faktorok közötti kölcsönhatások kimutatására, hogy az egyes tényezők hatásai milyen mértékben függnek más faktorok beállítási szintjeitől.

A faktorok száma és azok beállítási szintjeinek száma jelentősen befolyásolja a szükséges kísérletek számát, ezért törekedni kell arra, hogy kiszűrjük a lényegtelen hatással bíró faktorokat. Másrészt, ha kihagyunk a tervezésből fontos hatással bíró változókat, az optimálás nem vezet el a megfelelő eredményekhez. (Johanyák Zs., 2009.)

A legegyszerűbb és legkönnyebben kezelhető kísérleti terv végrehajtása során p számú faktor két beállítási szintjének minden kombinációját megvalósítjuk. Ez a 2p típusú teljes faktoriális terv. A tényezők szintjeinek kijelölése a kísérletezési tartomány nagyságának, a faktorok beállítási hibájának, és a variációs intervallum megválasztásának alapján történik. A tervezési mátrix előállításakor előnyös, ha elvégezzük a változók koordináta-transzformációját, így az X'_n faktor értéke a felső szinten +1, az alsó szinten –1 lesz.

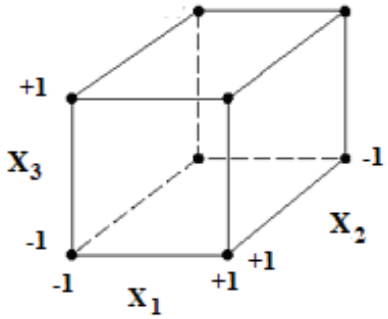
$$X'_n = \frac{X_n - X_n^o}{\Delta X_n} \quad (1)$$

$$X_n^o = \frac{X_n^{max} + X_n^{min}}{2} \quad (2)$$

$$\Delta X_n = \frac{X_n^{max} - X_n^{min}}{2} \quad (3)$$

1. táblázat. 2^3 típusú kísérleti terv mátrixa

	Faktorok és interakciók								Mért érték
Beállítás	X_o	X_1	X_2	X_3	X_1X_2	X_1X_3	X_2X_3	$X_1X_2X_3$	Y_i
1	+	−	−	−	+	+	+	−	Y_i
2	+	+	−	−	−	−	+	+	Y_2
3	+	−	+	−	−	+	−	+	Y_3
4	+	+	+	−	+	−	−	−	Y_4
5	+	−	−	+	+	−	−	+	Y_5
6	+	+	−	+	−	+	−	−	Y_6
7	+	−	+	+	−	−	+	−	Y_7
8	+	+	+	+	+	+	+	+	Y_8



1. ábra. **Háromtényezős teljes faktoriális tervek geometriai ábrázolása két beállítási szinttel**

A kísérleti terv meghatározása után ki kell választani azt a matematikai modellt, amely legjobban illeszkedik a kísérleti pontokra. A kétszintes tervekre illeszthető, főhatásokat és kétfaktoros kölcsönhatásokat is tartalmazó modell alakja egy polinom:

$$Y = a_0 + a_1 \cdot X_1 + a_2 \cdot X_2 + a_3 \cdot X_3 + a_{12} \cdot X_1 \cdot X_2 + a_{13} \cdot X_1 \cdot X_3 + a_{23} \cdot X_2 \cdot X_3 + a_{123} \cdot X_1 \cdot X_2 \cdot X_3 \quad (4)$$

Illetve a transzformált faktorokra:

$$Y = a'_0 + a'_1 \cdot X'_1 + a'_2 \cdot X'_2 + a'_3 \cdot X'_3 + a'_{12} \cdot X'_1 \cdot X'_2 + a'_{13} \cdot X'_1 \cdot X'_3 + a'_{23} \cdot X'_2 \cdot X'_3 + a'_{123} \cdot X'_1 \cdot X'_2 \cdot X'_3 \quad (5)$$

Ahol a_0, a_1, a_2, a_3, a_{12}, a_{13}, a_{23}, a_{123}, illetve a'_0, a'_1, a'_2, a'_3, a'_{12}, a'_{13}, a'_{23}, a'_{123} együtthatók, amelyek nagyságából következtethetünk a faktor, illetve a kölcsönhatások erősségét, értékeik kifejezik, hogy mennyit változik a válaszjellemző, ha az adott faktor az alapszintről a felső vagy alsó szintre módosul. Ennek kétszeresét nevezzük a faktor főhatásának (Adler, 1977).

Anyag és módszer

A Szegedi Tudományegyetem Mérnöki Karán található folyamatos anyagtovábbítású mikrohullámú kezelőberendezésben kezelt tejipari szennyvíz a Sole-Mizo Zrt. szegedi telephelyéről származik. A kezelendő anyagot egy perisztaltikus szivattyú juttatja keresztül a rendszeren, melynek fordulatszámával a kívánt térfogatáram állítható. A mikrohullámú kezelés egy üregrezonátorban történik, ebben az anyag egy spirálisan elhelyezett tefloncsőben halad végig. A rezonátorhoz csőtápvonalon csatlakozó 2,45 GHz frekvencián működő vízhűtéses magnetron teljesítménye állítható. A szennyvíz besugárzása két különböző térfogatáram, két különböző magnetron teljesítmény mellett, egyszeri, illetve ötszöri kezeléssel történt, amely paraméterek az 2. táblázatban láthatóak. A kezelési idő a térfogatáram változtatásával, illetve a kezelések számával változott, a felhasznált energiát pedig a magnetron teljesítmény és a kezelési idő szorzataként számítottuk ki.

A biogázhozam mérése BOI OxiTop PM típusú manometrikus elven működő 12 férőhelyes, folyamatosan kevertetett rendszerrel történt. A fermentáció mezofil hőmérséklettartományban (40 ºC) zajlott. A mérés során a mérőfejek a gáztermelődéssel összefüggésben lévő nyomásváltozást regisztrálják 2 órás időközönként. A mérőfejek által rögzített nyomásértékekből, a minta fölött lévő gáztér térfogatának ismeretében számítható ki a keletkező biogáz atmoszferikus nyomásra és 20 ºC hőmérsékletre normált térfogata.

2. táblázat. A kísérletbe bevont változók és beállítási szintjeik

	Faktorok		
Beállítási szint	**Magnetron teljesítmény (MT) [W] X_1**	**Térfogatáram (TÁ) [Lh^{-1}] X_2**	**Kezelések száma (KSZ) [−] X_3**
–	300	6	1
+	700	25	5

Eredmények és értékelésük

A kezelések véletlen sorrendben történtek az 1. és 2. táblázatban meghatározott beállításokkal, minden esetben háromszori ismétléssel, majd a fermentáció és a biogázhozam mérése történt. A kezelések hatékonyságának vizsgálatához egy energetikai szempontból jellemző paraméter definiálására került sor:

$$\text{fajlagos besugárzott energia (FBE)} \left[\frac{J}{ml}\right] = \frac{\text{magnetron teljesítmény[W]} \cdot \text{kezelési idő [s]}}{\text{biogázkohozatal [ml]}}$$

3. táblázat. A kísérletbe bevont változók és beállítási szintjeik

Beállítás	**MT [W] X_1**	**TÁ [lh^{-1}] X_2**	**KSZ [-] X_3**	**t [s]**	**E [J]**	**FDE [J/ml] Y**
1	300	6	1	300	90000	**579**
2	700	6	1	300	210000	**1098**
3	300	25	1	72	21500	**497**
4	700	25	1	72	50400	**387**
5	300	6	5	1500	450000	**2307**
6	700	6	5	1500	1050000	**976**
7	300	25	5	360	108000	**439**
8	700	25	5	360	252000	**283**

A kapott értékekre a (5)-ben meghatározott regressziós modell illeszthető, és meghatározható az egyes paraméterek szignifikanciája. Az együtthatók a nyolc kísérleti pontban kapott mérési adatok segítségével határozhatók meg. Az eredmények alapján azonosíthatók a kimeneti paramétert leginkább befolyásoló tényezők. Végül fel-

írható az a matematikai modell, amely kellő pontossággal leírja a kimeneti jellemző független változóktól való függőségét. Az adatok feldolgozása a Design-Expert® szoftver segítségével történt.

A faktorok hatását az alsó és fölső szintjeikhez tartózó középértékük különbségéből (kontraszt) kapjuk, az együtthatók a hatások felét jelentik. A kísérletbe bevont tényezők fajlagos besugárzott energiára gyakorolt hatásainak nagyságát, a regressziós paramétereket, azok átlagos hibáját, és az optimális beállítási szintekre kapott becslési értékeket a 4. táblázat tartalmazza.

4. táblázat. Hatások és kölcsönhatások a fajlagos besugárzott energiára

Faktor	Becsült hatás	Együtt-ható (a)	a hibája	t érték	p
átlag (teng. metsz.)	1122,17	1122,17	16,45	16,18	0,0000
X_1	-304,76	-152,38	14,25	10,7	0,0001
X_2	-793,26	-396,63	14,25	27,8	< 0,0001
X_3	354,76	177,38	14,25	12,44	< 0,0001
$X_1 \cdot X_2$	178,76	89,38	14,25	6,27	0,0015
$X_1 \cdot X_3$	-466,24	-233,12	14,25	16,36	< 0,0001
$X_2 \cdot X_3$	-459,74	-229,87	14,25	16,13	< 0,0001
X_1^2	-648,08	-324,04	21,77	14,89	< 0,0001
$X_1 \cdot X_2 \cdot X_3$	460,24	230,12	14,25	16,15	< 0,0001

A **t** próbastatisztika értékeit és a hozzá tartozó valószínűségeket a 4. táblázat ötödik és hatodik oszlopa tartalmazza. A három faktor és a jelölt kombinációik fajlagos besugárzott energiára gyakorolt hatása 95%-os megbízhatósági szinten szignifikáns ($p < 0,25$). A hatások jelentőségét varianciaanalízissel is igazolhatjuk, amikor a válaszjellemző – egyes faktorok okozta – ingadozását a maradék szórásnégyzettel hasonlítjuk össze.

	SS	df	MS	F	p
Model	3401000	8	425100	261,69	< 0,0001
X_1	185700	1	185700	114,34	0,0001
X_2	1258000	1	1258000	774,66	< 0,0001
X_3	251700	1	251700	154,93	< 0,0001
$X_1 \cdot X_2$	63903,13	1	63903,13	39,34	0,0015
$X_1 \cdot X_3$	434800	1	434800	267,63	< 0,0001
$X_2 \cdot X_3$	422700	1	422700	260,22	< 0,0001
X_1^2	360000	1	360000	221,60	< 0,0001
$X_1 \cdot X_2 \cdot X_3$	423700	1	423700	260,78	< 0,0001

$$Y_{FBE} = 1122,17 - 152,38 \cdot X_1 - 396,63 \cdot X_2 + 177,38 \cdot X_3 + \\ + 89,38 \cdot X_1 \cdot X_2 - 233,12 \cdot X_1 \cdot X_3 - 229,87 \cdot X_2 \cdot X_3 - \\ - 324,04 \cdot X_1^2 + 230,12 \cdot X_1 \cdot X_2 \cdot X_3 \quad (6)$$

A mért adatokra illesztett regressziós függvény illeszkedésének jóságát a determinációs együttható ($R^2 = 0,9976$), illetve a modellben szereplő paraméterek számával korrigált együttható ($R^2_{adj} = 0,9938$) mutatja.

Irodalomjegyzék

[1] Adler, J. P., Markova, E. V., Granovszkij, J. V.: Kísérletek tervezése optimális feltételek meghatározására. Budapest, 1977, Műszaki Könyvkiadó.

[2] Baesler, F.F., Araya, E., Ramis, J.F., Sepúlveda, A.J., 2004: The use of simulation and design of experiments for productivity improvemenet int he sawmill industry, Proceedings of the Winter Simulation Conference, Washington D.C.

[3] Costa, H.C. et al., 2000: Statistical experimental design and modeling of polypropylene-wood fiber composites, ELSEVIER: Polimer Testing Vol. 19, pp. 419-428

[4] Hsu, W.E., 1996: Optimization of pressing parameters for waferboard/ OSB panels, Canadian Forest Service Report No19., Forintek Canada Corporation. 27 pp.

[5] Johanyák Zs.: Bevezetés a kísérletmódszertanba. 2009, Kecskeméti Főiskola.

[6] Kemény, S., Deák, A., 2000: Kísérletek tervezése és értékelése, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 492 old.

[7] Santner, T. J., Williams, B. J., Notz, W. I.: The Design and Analysis of Computer Experiment. 2003, New York , Springer-Verlag.

Kaposváron hamarosan a használt sütőolajért is házhoz mennek

Magyarországon eddig nem volt megoldott hatékonyan a lakossági használt sütőolaj és zsiradék begyűjtése, elhelyezése és feldolgozása. A hulladékudvarokban és a MOL-kutak egy részénél ugyan le lehet adni ezt a fajta hulladékot, és bioüzemanyagot állítanak elő belőle, de a lakossági használt sütőzsiradékoknak így is több, mint 95%-a vagy a szennyvíztelepeken, vagy a hulladéklerakókban, vagy egész egyszerűen a földre kiöntve végzi. Ami azért nagy probléma, mert a sütőolaj igen káros a környezetre. Nehezen bomlik le, és gátolja a földben, a vizekben zajló természetes folyamatokat. Egyetlen csepp használt étolaj akár ezer liter élővizet is elszennyezhet. Gátolja a talaj légáteresztő képességét, illetve záróréteget képezve megakadályozza a víz feljebb jutását. Megakadályozza a növények gyökérzetének tápanyag- és vízfelvételét, illetve gyökérlégzését. A természetes vizekbe kerülve pedig akadályozza a vízfelület oxigéncseréjét és növeli a víz biológiai oxigénigényét is. Ezért különösen fontos a használt sütőolaj szelektív gyűjtése és megfelelő feldolgozása. Amennyiben a használt sütőzsiradékokat bioüzemanyaggá alakítják át, egy környezetileg káros hulladékfajta megszűnik és helyette egy megújuló forrásból származó, kedvező tulajdonságú üzemanyag, energiahordozó keletkezik oly módon, hogy nem veszélyezteti az élelmiszerbiztonságot.

A használt sütőolaj újrahasznosítása nemcsak a környezeti terhelést csökkenti, hanem könnyen előállítható belőle környezetbarát üzemanyag is, mely hozzájárul az üvegházhatás csökkentéséhez, nem veszélyezteti a táplálékláncot, csökkenti a mezőgazdasági célra is felhasználható elsődleges alapanyagok biodízelben történő felhasználási arányát, nem avatkozik bele a mezőgazdaságba, alacsony a kéntartalma, valamint a biodízel előállítása nem járul hozzá a globális felmelegedéshez olyan mértékben, mint a dízel előállítása. Emellett a biodízelnek alacsonyabb a szén-monoxid, a nem elégetett szén-hidrogén és a szemcsés anyag kibocsátása, mint a dízelé. Elegyítve pozitívan befolyásolja a dízel tulajdonságait is. Nem utolsó sorban a biodízel alkalmazása hozzájárul Magyarország az EU irányába tett kötelezettség-vállalásainak teljesítéséhez is, így a bioüzemanyag célú alapanyagok használatához.

Az NHKV Zrt. ezért kidolgozott egy olyan begyűjtési rendszert, mely a regionális hulladékgazdálkodókkal és a területileg illetékes Önkormányzatokkal együttműködve megoldást kínál a használ sütőolaj problémájára. A programot elsőként Kaposváron tesztelik, ennek keretében minden lakás, illetve családi házas háztartás kap egy-egy minimum 3 literes gyűjtőedényt, amelyben 1-2 hónap alatt keletkező, használt sütőolaj és zsiradék fér el. Az edény szagzáró, hőálló, hőszigetelt fogórésszel rendelkezik, és egyszerűen azonosítható. A társasházak lépcsőházaiba egy 50-60 literes intelligens gyűjtőedény kerül telepítésre, melybe a lakosok bele tudják önteni a 3 literes edényben összegyűlt sütőolajat. A társasházi gyűjtőedényekbe olyan eszközt építenek, mely méri a tartály telítettségét, és az adatokat egy központi szerverre továbbítja. Az edényekbe szerelt azonosítók segítségével megvalósítható a bejelentés alapú ürítés is akár mobil applikációval támogatva.

Kaposvár, melynek lakossága mintegy 64 000 fő, a háztartások száma pedig 24 949 darab, a rendszer tesztelésére minden szempontból ideális helyszín. A gyűjtésre a város teljes területén lesz lehetőség.

Forrás: https://nhkv.hu/hirek/2018/09/bovul-a-szelektiven-gyujtheto-hulladekok-kore/

Földgáz távvezetéki kompresszorállomások elemeinek és feladatainak bemutatása

Szolyák Zsuzsanna
okl. olaj- és gázmérnök, szolyak.zsuzsanna@gmail.com

A publikáció a kompresszorállomások elemeinek, valamint azon paraméterek számításának bemutatásával foglalkozik, amelyek ismerete elengedhetetlen a tervezési folyamat során. Ezek az állomások a földgáz vezetékeken telepített olyan létesítmények, amelyek a földgázt egy adott nyomásra komprimálják, ezáltal biztosítva a gáz további áramlását. Erre azért van szükség, mert hosszabb távolság esetén a súrlódás-, valamint a magasságkülönbségek okozta veszteségek csökkentik a gáz nyomását. A cikk célja, hogy egy általános képet adjon az olvasó számára ezen nyomásfokozó létesítmények szerepével, felépítésével, valamint működésével kapcsolatban.

*

The publication deals with the presentation of the elements of compressor stations and the calculation of the parameters which knowledge is essential during the design process. These stations are installed in the natural gas transmission system that compress the natural gas at a given pressure, thereby ensuring further gas flow. This is necessary because, at long distances, friction and altitude losses can reduce the pressure of the gas. The purpose of the article is to provide a general picture about the role, structure and operation of these pressure-boosting facilities.

* * *

A földgázszállító hálózat egy olyan energiaellátó rendszernek a központi eleme, amely a földgázmezőktől egészen a fogyasztókig terjed és elszállítja a földgázt a forráskörzetekből a fogyasztói körzetekbe. A magyar hálózat is egy ilyen nagynyomású és igen komplex rendszer. Az 1. ábrán hazánk földgázszállító vezetékhálózata látható.

A rendszer az alábbi elemekből épül fel:

- Betáplálási pontok
- Kiadási pontok (gázátadó állomások)
- Földgáz-vezeték rendszer
- Kompresszorállomások
- Csomópontok

A földgázszállító rendszer betáplálási pontjait 14 darab hazai termelési betáplálási pont, 5 darab tárolói betáplálási pont (Hajdúszoboszló, Algyő, Kardoskút, Pusztaederics, Zsana), valamint 4 darab határkeresztező betáplálási pont (Mosonmagyaróvár, Beregdaróc, Drávaszerdahely, Csanádpalota) alkotja. A kiadási pontokat a 4 darab határkeresztező kiadási pont (Beregdaróc, Drávaszerdahely, Csanádpalota, Kiskundorozsma), az 5 darab tárolói kiadási pont, valamint a 395 darab gázátadó állomás adja. Ezeket a pontokat köti össze a nagynyomású acél vezetékrendszer, melynek hossza összesen 5783 km. A vezetékek névleges nyomása jellemzően 63,

1. táblázat. **Magyarország földgázszállító vezetékhálózata** (Forrás: Chován Péter: A magyar földgázszállító rendszer történeti fejlődése)

bizonyos esetekben 75 bar, az átmérőjük pedig a DN100-DN1400-as intervallumba tartozik. Továbbá a rendszeren összesen 6 darab kompresszorállomás üzemel (Beregdaróc, Mosonmagyaróvár, Nemesbikk, Városföld, Hajdúszoboszló, Báta) melyek a nyomás emelésével biztosítják a rendszer szükséges kapacitását. [1.]

2. ábra. **Földgáz szállítóvezeték szakasz nyomásesése kompresszorokkal és a nélkül**
(Forrás: [3.] FGSZ ZRT.: Kompresszorállomások feladata, felépítése és a gázturbina meghajtású centrifugál-kompresszoregység, PPT előadás, Miskolci Egyetem, 2017.)

A 2. ábra a nyomások alakulását mutatja egy adott vezetékhossznál. A távvezeték-hálózaton lévő folyamatos szállítás érdekében mindig biztosítani kell egy bizonyos mennyiségű tömegáramot figyelembe véve a földgázigény szezonalitását. Ennek a gázáramnak a biztosítása megvalósítható a sebesség növelésével, a gázhőmérséklet csökkentésével, valamint a nyomás, vagy az átmérő növelésével is. A felsorolt lehetőségek közül egy meglévő, és adott környezeti határokkal rendelkező vezeték esetében a nyomás növelése lehet a megoldás. Az, hogy milyen mértékben szükséges komprimálni a földgázt, több szempont függvénye. Figyelembe kell venni a vezeték elhelyezkedését, hosszát, átmérőjét, és a szállítás során adódó magasságkülönbségeket. Továbbá fontos tényező az, hogy az adott időszakban milyen környezeti hatások érik a szállító vezetéket, például a magas környezeti hőmérséklet növelheti a vezetékben uralkodó nyomást. Az évszakok váltakozásából adódó földgázigény csökkenése, vagy növekedése fontos tényező abban a tekintetben, hogy mekkora az adott tömegáram, amit biztosítani kell.

Látható, hogy a kompresszorállomások a vezetéken keletkezett veszteségeket hivatott kiküszöbölni azáltal, hogy mindig az adott helyzethez szükséges nyomást biztosítja a rendszeren. A távvezeték-hálózatban általában 100-200 kilométerenként telepítik ezeket a létesítményeket. [2]

Egy távvezetéki nyomásfokozó kompresszorállomás feladata elég speciális a gázigény szezonális változásai miatt. Nagy mennyiségű gázáramokat komprimálnak 1,3-1,6-os nyomásaránnyal. Erre a feladatra a legmegfelelőbb berendezés a turbókompresszor. Mivel ebben az esetben nagy fordulatszámról van szó, meghajtó motorként legtöbbször gázturbinát használnak. Egy távvezetéki kompresszorállomás az alábbi részekből épül fel:

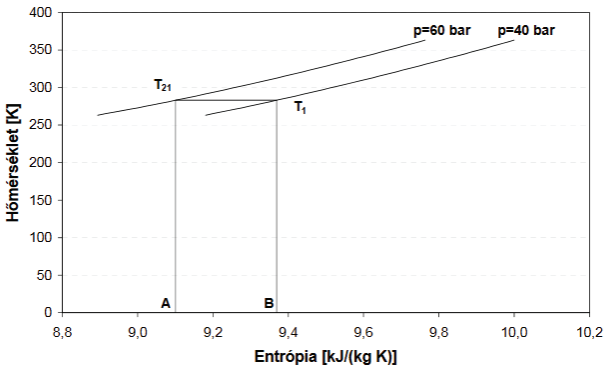
- Földgáz szűrő és folyadékleválasztó modul: A kompresszorállomások olyan szűrőberendezéseket tartalmaznak, amelyek eltávolítják a földgázból a különböző szennyeződéseket.
- Kompresszor modul: Az az egység, amely ténylegesen növeli a földgáz sűrűségét.
- Földgáz hűtő modul: A komprimálás során a földgáz hőmérséklete emelkedik. Ha a földgáz hőmérséklete meghaladja az 50 °C-os értéket, akkor biztonsági okok miatt, a továbbszállítás megkezdése előtt le kell hűteni, amelyhez a legtöbb esetben léghűtést használnak.
- Fűtőgáz előkészítő modul.
- Fűtőgáz és a szállított gáz mérésére szolgáló modul. [3]

Ezek az állomások szükség esetén napi 24 órában működnek, évente 365 napban és képzett személyzet figyeli a működését. Minden állomás rendelkezik vészleállító rendszerrel, amely ha szükséges, leállítja a kompresszor egységeket és elszigeteli a kompresszorállomás vezetékeit. [4] Ezekre a rendszerekre szigorú karbantartási és ellenőrzési szabályok vonatkoznak. A kompresszorállomások azon kívül, hogy biztosítják a földgáz folyamatos áramlását a vezetékrendszeren, lehetővé teszik, hogy a földgáz tárolókba való betáplálása is végbemenjen a nyári időszak alatt. Az állomások görényindítókkal és fogadókkal rendelkeznek, melyek létfontosságúak a vezetékrendszer karbantartásában, illetve számos biztonsági funkcióval is rendelkeznek, amelyek lehetővé teszik a vezetékrendszer és az állomás biztonságos működését. [5,6]

A cikk a továbbiakban a kompresszorállomások tervezéséhez szükséges elméleti alapok összefoglalásával foglalkozik. Többféle állapotváltozást is meg lehet különböztetni, attól függően, hogy hogyan változik a földgáz hőmérséklete a sűrítés hatására. Ezen állapotváltozásokat diagramokon is szemléltetem.

Izotermikus kompresszió

Abban az esetben van szó izotermikus állapotváltozásról, ha a földgáz hőmérséklete a sűrítés közben állandó marad. Ez az állapotváltozás látható a 3. ábrán.



3. ábra. **Izotermikus állapotváltozás** (Forrás: Tihanyi L., 2004)

A sűrítési folyamat során mindenképpen hőt kell elvonni a közegből, mivel csak így biztosítható az, hogy a gáz hőmérséklete állandó maradjon. Azonban meg kell említeni, hogy ez csupán egy ideális eset, a valóságban ilyen nem valósul meg. Izotermikus sűrítés esetén éppen akkora nagyságú hőt kell elvonni az egységnyi tömegű földgázból, mint amekkora munkára szükség volt magához a sűrítési folyamathoz. Tehát:

$$L_{iz} = \frac{R \cdot T_1}{M} \cdot \frac{ln\, p_2}{p_1}$$

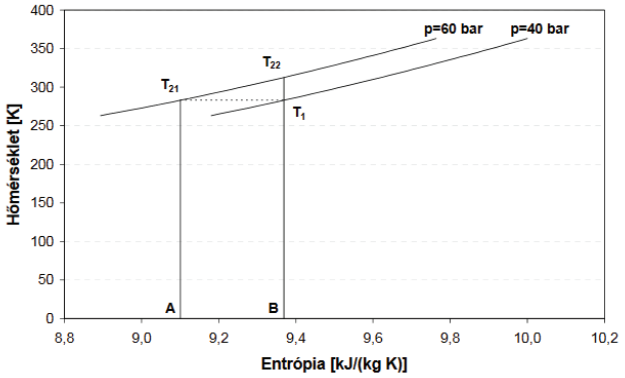
$$Q_{iz} = \frac{-R \cdot T_1}{M} \cdot \frac{ln\, p_2}{p_1}$$

Az izotermikus sűrítési munka ismeretében, a kompresszorok jellemzésére használt szállítómagasság meghatározható:

$$H_{iz} = \frac{L_{iz}}{g}$$

Izentrópikus állapotváltozás

Abban az esetben beszélhetünk izentrópikus állapotváltozásról, ha a folyamat közben környezeti hőcsere nem történik, valamint az áramlás súrlódásmentes. Ez az állapotváltozás figyelhető meg a 4. ábrán.



4. ábra. **Izentrópikus állapotváltozás** (Forrás: Tihanyi L., 2004)

A földgáz nyomása és sűrűsége között a következő összefüggés írható fel:

$$\frac{p}{p_1} = \left(\frac{\rho}{\rho_1}\right)^K$$

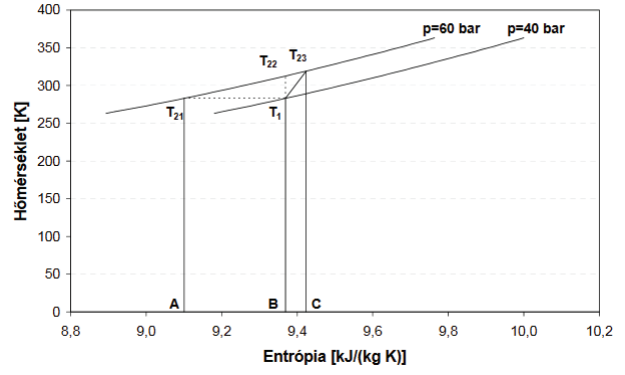
Ezen összefüggés ismeretében az izentrópikus sűrítési munka az alábbi képlettel meghatározható:

$$L_{ize} = \frac{R \cdot T_1}{M} \cdot \frac{K}{K-1} \cdot \left[\left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{K-1}{K}} - 1\right]$$

A sűrítési folyamat során a földgáz hőmérséklete növekszik. Azonban a távvezetéki szállítás esetén figyelembe kell venni azt is, hogy a nagyobb hőmérsékletű gáznak nagyobb az áramlási ellenállása is, éppen ezért a földgázt a kompresszor után hűteni kell.

Politropikus állapotváltozás

A valódi helyzeteket politropikus állapotváltozással lehet leginkább megközelíteni. Szükséges megemlíteni, hogy a nagy sebességű áramlások miatt, számottevő súrlódási veszteségek keletkezhetnek, melyek hővé alakulnak át és a gáz hőmérsékletének a növekedését eredményezik. Az állapotváltozás az 5. ábrán látható.



5. ábra. **Politropikus állapotváltozás** (Forrás: Tihanyi L., 2004)

Látható, hogy a gáz hőmérséklete jelen esetben is növekedett, azonban a súrlódás miatt nagyobb mértékben, mint izentrópikus esetben. [7]

Hazánkban az évszakok, és ez által a környezeti hőmérséklet változásából adódóan a gázigény is folyamatosan változik, leginkább a háztartási fogyasztók esetében. A téli hónapokban a fűtés biztosítása miatt nagyságrendekkel megnő a földgáz felhasználása a háztartásokban, viszont a nyári hónapokban a felhasznált gáz mennyisége visszaesik. Az 1. táblázatban az elmúlt földgázfogyasztási adatok láthatók az elmúlt hónapokra vonatkoztatva.

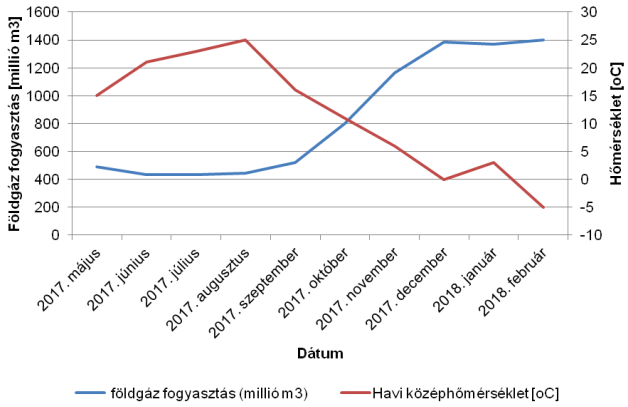
1. táblázat. Havi középhőmérséklet és földgáz fogyasztás kapcsolata (2017-2018)

	2017. május	2017. június	2017. július	2017. augusztus	2017. szeptember
földgáz fogyasztás (millió m³)	492	432	435	443	520
Havi középhőmérséklet [°C]	15	21	23	25	16

2017. október	2017. november	2017. december	2018. január	2018. február
802	1167	1385	1370	1401
11	6	0	3	-5

Forrás: www.eurostat.com, www.omsz.hu, saját szerkesztés

A táblázat adataiból ábra készült a szemléltetés céljából:



6. ábra. **Havi középhőmérséklet és földgáz fogyasztás kapcsolata (2017-2018)**
(Forrás: www.eurostat.com, www.omsz.hu, saját szerkesztés)

A havi középhőmérséklet és a gáz felhasználása között fordított arányosság van. Ahogyan csökken a hőmérséklet hónapról hónapra, úgy növekszik a gázigény. A leghidegebb 2018 februárjában volt, és ekkor volt a legnagyobb a felhasznált gázmennyiség. Tehát elmondható, hogy a kompresszorállomások működését tekintve a legfontosabb tényező az adott gázigény, amit biztosítani kell.

A következő mintapélda segítségével bemutatásra kerülnek azok a paraméterek, melyek elengedhetetlenek a kompresszorállomások tervezése során, valamint az, hogy a változó gázigények hogyan befolyásolják ezeket a paramétereket.

Mintapélda:

Adottak a következő paraméterek:

Nyomónyomás: $p_2 = 60$ bar	Mechanikai hatásfok: $\eta_{mech} = 95\% = 0{,}95$
Szívónyomás: $p_1 = 48$ bar	Hőmérséklet a szívóoldalon: $T_1 = 5\ °C = 278{,}15$ K
Politropikus hatásfok: $\eta_{pol} = 70\% = 0{,}7$	Izentrópikus kitevő: $\kappa = 1{,}4$
A gáz moláris tömege: $M = 16{,}44$ kg/kmol	Termikus hatásfok: $\eta_{term} = 35\% = 0{,}35$
Gázáram: $q_n = 420\,000$ m³/h = 116,6667 m³/s	A fűtőgáz alsó hőértéke: $H_n = 34$ MJ/m³

Az inzentrópikus kitevő az állandó nyomáson és állandó térfogaton mért fajhő hányadosaként definiálható. A politropikus hatásfok pedig megadja, hogy a kompresszor belső munkaszükségletének mekkora része fordítódik a földgáz sűrítésére. A termodinamikában az adott gép által végzett munka és a felvett hő hányadosát nevezzük termikus hatásfoknak.

A mechanikai veszteségek a mozgó alkatrészek súrlódási veszteségeiből, valamint a segédberendezések hajtásához szükséges energiából tevődnek össze. Tehát a mechanikai veszteségeket a mechanikai hatásfokkal jellemezzük.

Kompresszorállomás tervezéshez meg kell határozni az alábbi paramétereket:

- Szállítómagasság
- Kompresszor teljesítmény
- Fűtőgázfogyasztás

Első lépésben a komprimálandó gáz eltérési tényezője kerül meghatározásra a következő egyszerűsített képlet segítségével:

$$z = 1 - 0{,}002 \cdot p_1 = 0{,}87$$

Mivel a valódi változásokat csak politropikus állapotváltozással lehet leírni, szükséges volt a politropikus kitevő bevezetése (n), amely a következőképpen határozható meg:

$$\frac{n}{n-1} = \frac{\kappa}{\kappa - 1}\eta_{pol} = \frac{1{,}4}{1{,}4-1} \cdot 0{,}7 = 2{,}45$$

ebből n = 1,689

ahol *K* a gáz izentrópikus kitevője. (földgázok esetén megközelítőleg 1,4).

A politropikus sűrítési munka a következő módon számítható:

$$L_{pol} = \frac{R \cdot T_1}{M} \cdot \frac{n}{n-1} \cdot \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right]$$

$$L_{pol} = \frac{8314 \frac{\text{J}}{\text{kmol} \cdot \text{K}} \cdot 278{,}15\,\text{K}}{16{,}44 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}} \cdot 2{,}45 \cdot \left[\left(\frac{61{,}013\,\text{bar}}{49{,}013\,\text{bar}} \right)^{\frac{1{,}689-1}{1{,}689}} - 1 \right] =$$

$$= 32224 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

Az adott gáz gáztechnikai normálállapotban (15 °C; 1013,25 mbar) vett sűrűsége:

$$\rho = \frac{p_n \cdot M}{R \cdot T_n} = \frac{101325\,\text{Pa} \cdot 16{,}44 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}}{8314 \frac{\text{J}}{\text{kmol} \cdot \text{K}} \cdot 288{,}15\,\text{K}} = 0{,}6953 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Az összefüggés hasonló az izotermikus sűrítéséhez szükséges munka meghatározásához alkalmazott képlethez, viszont ebben az esetben, mivel politropikus állapotváltozásról van szó, a politropikus kitevővel kell számolni az izentrópikus kitevő helyett. A sűrűség számítására a kompresszor elméleti teljesítményének meghatározása céljából van szükség. A kompresszor szívó-, és nyomó nyomása túlnyomásban került megadásra, viszont a számítások során abszolút nyomást kell alkalmazni, tehát az eredeti nyomásértékekhez hozzá kell adni a normál légköri nyomást, amely 101 325 Pa. [7]

A politropikus sűrítési munka ismeretében a kompresszor politropikus szállítómagassága egyszerűen számítható:

$$H_{pol} = \frac{L_{pol}}{\text{g}} = \frac{32224 \frac{\text{J}}{\text{kg}}}{9{,}81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 3284{,}8\,\text{m}$$

Ezek után következik a kompresszor elméleti teljesítményének meghatározása a következő képlet segítségével:

$$N = \frac{R \cdot T_1}{M} \cdot \frac{n}{n-1} \cdot q_n \cdot \rho \cdot \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right]$$

$$N = \frac{8314 \frac{\text{kJ}}{\text{kmol} \cdot \text{K}} \cdot 278{,}15\,\text{K}}{16{,}44 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}} \cdot 2{,}45 \cdot 116{,}6667 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \cdot$$

$$\cdot 0{,}6953 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \left[\left(\frac{61{,}013\,\text{bar}}{49{,}013\,\text{bar}} \right)^{\frac{1{,}689-1}{1{,}689}} - 1 \right]$$

$N = 2\,614\,108$ W = 2,6 MW

Az elméleti teljesítmény, valamint a mechanikai hatásfok figyelembevételével a kompresszor tengelyteljesítménye számítható:

$$N_t = \frac{N}{\eta_{\text{mech}}} = \frac{2614108\,\text{W}}{0{,}95} = 2751693\,\text{W} = 2{,}75\ \text{MW}$$

A fűtőgáz fogyasztás a tengelyteljesítmény ismeretében meghatározható:

$$q_f = \frac{N_t}{\eta_{\text{term}} \cdot H_n} = \frac{2{,}75\ \text{MW}}{0{,}35 \cdot 34 \frac{\text{MJ}}{\text{m}^3}} = 832 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

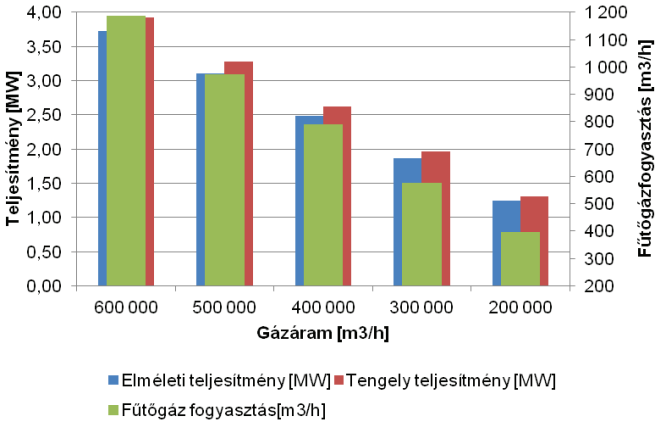
A további számítások eredményeit a 2. táblázat tartalmazza. A gázáramok meghatározása során feltételezett adatokkal történtek a számítások. A maximum érték egy téli naphoz tartozik, míg a legkisebb érték egy nyárihoz.

A számítások során világossá vált, hogy a biztosítandó gázáram mennyisége egyáltalán nem befolyásolja a sűrítési munkát, valamint a szállítómagasságot. Azonban a táblázatból megfigyelhető, hogy a teljesítmények valamint a fűtőgázfogyasztás értékeit jelentősen befolyásolja. Ahogyan csökken a gázáram értéke, úgy csökken a többi számított paraméter értéke is. Tehát elmondható, hogy minél kisebb a gázigény, annál kevesebb teljesítmény szükséges a biztosításához. A folyamatos csökkenés az 5. ábrán is látható.

2. táblázat. A gázáram változásának hatásai

Gázáram [m³/h]	Elméleti teljesítmény [MW]	Tengely teljesítmény [MW]	Fűtőgáz fogyasztás [m³/h]
q	N	N_t	q_f
600 000	3,73	3,93	1 188
500 000	3,11	3,28	972
400 000	2,49	2,62	792
300 000	1,87	1,97	576
200 000	1,24	1,31	396

Forrás: saját szerkesztés



5. ábra. **A gázáram változásának hatásai**

Fontos megemlíteni, hogy ezeknél az állomásoknál a gépegységek párhuzamosan vannak kapcsolva. Abban az esetben, ha jelentősen lecsökken a gázigény (nyári időszak), akkor a gépegységek számának szabályozásával tudják biztosítani a megfelelő nyomást. Tehát előfordulhat, hogy a nyári időszakban például feleannyi gépegység üzemel, mint a téli időszakban. Ez mindig attól függ, hogy mekkora a gázigény, amit biztosítani kell.

A kompresszorállomások a földgázhálózat rendkívül fontos elemei, amelyek a földgázt egy adott nyomásra komprimálják, ezáltal biztosítva a gáz további áramlását. Az, hogy milyen mértékben szükséges komprimálni a földgázt, több szempont függvénye. Figyelembe kell venni a vezeték elhelyezkedését, hosszát, átmérőjét, és a szállítás során adódó magasságkülönbségeket, hiszen hosszabb távolság esetén a súrlódás-, valamint a magasságkülönbségek okozta veszteségek csökkentik a gáz nyomását. A cikkben sikerült általános képet adni ezeknek az állomásoknak a felépítésükről, működésükről valamint sikerült bemutatni feltételezett adatok segítségével azt, hogy a gázigény szezonális változásai hogyan befolyásolhatják azokat a paramétereket, melyek elengedhetetlenek a kompresszor állomások tervezése során.

Jelmagyarázat:

Jelölés	Megnevezés	Mértékegység
p_2	kompresszor nyomónyomás	bar
p_1	kompresszor szívónyomás	bar
η_{pol}	politropikus hatásfok	[–]
M	a gáz moláris tömege	kg/kmol
q_n	gáz térfogatáram gáztechnikai normál állapotban	m^3/s
η_{mech}	mechanikai hatásfok	[–]
T_1	gázhőmérséklet a kompresszor szívó oldalán	K
κ	izentrópikus kitevő	[–]
η_{term}	termikus hatásfok	[–]
H_n	a fűtőgáz alsó hőértéke	MJ/m^3
z	a földgáz eltérési tényezője	[–]
n	politrópikus kitevő	[–]
L_{pol}	politropikus sűrítési munka	J/kg
ρ	a földgáz sűrűsége	kg/m^3
R	egyetemes gázállandó (8314 J/kmolK)	J/kmolK
p_n	normál légköri nyomás (101 325 Pa)	Pa
T_n	gáztechnikai normál hőmérséklet (15 °C)	K
H_{pol}	politropikus szállítómagasság	m
g	gravitációs gyorsulás (9,81 m/s^2)	m/s^2
N	a kompresszor elméleti teljesítménye	W
N_t	a kompresszor tengely teljesítménye	W

Irodalomjegyzék

[1] Rosta Balázs: Hőmérsékletváltozással kapcsolatos vizsgálatok a „Mosonmagyaróvár-Tatabánya 2" gázszállító vezetékrendszeren, Diplomamunka, Miskolci Egyetem, 2016

[2] FGSZ ZRT.: Kompresszorállomások feladata, felépítése és a gázturbina meghajtású centrifugál-kompresszoregység, PPT előadás, Miskolci Egyetem, 2017.

[3] Tihanyi L.: Gázszállítás I., Egyetemi jegyzet, Miskolci Egyetem, 2004.

[4] Dave Messersmith: Understanding Natural Gas Compressor Stations, https://extension.psu.edu/understanding-natural-gas-compressor-stations

[5] STI Group: Compressor Stations: What They Do, How They Work, and Why They Are Important, 2014, http://setxind.com/midstream/compressor-stations-what-how-why/

[6] Enbridge: Transporting Natural Gas, https://www.enbridge.com/about-us/our-work/natural-gas-101/transporting-natural-gas/compressor-stations

[7] Tihanyi László – Zsuga János: Földgázszállító rendszerek tervezése és létesítése, Miskolc, 2012. ISBN 978-963-661-999-2 pp. 222-241.

Klímaváltozás – Energiatudatosság – Energiahatékonyság

XIV. Konferencia, kiállítás és innovációs ötletbörze

KLENEN'19

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

Az energiahatékonysági törvény végrehajtásának tapasztalatai, energetikai audit eredmények bemutatása

Helyszín: Hotel Yacht, Siófok. **Időpont:** 2019. március 7-8. **Előadással jelentkezési határidő:** 2018. október 15.

További információ: www.klenen.eu

Hozzájárulás a virtuális erőmű építéséhez:
7,2 kW_e

Napelemes kiserőművek telepítése a FŐTÁV Zrt. fűtőműveiben[1]

Orbán Tibor
okl. gépészmérnök; torban@fotav.hu

Szalai Szabolcs
épületgépész mérnök, szszalai@fotav.hu

A FŐTÁV Zrt. a környezettudatos magatartás jegyében és a vásárolt fosszilis alapú villamosenergia-mennyiség csökkentése érdekében három fűtőműve tetőszerkezetére egy-egy fotovoltaikus kiserőművet telepített. A létesítési munkák 2017. év nyarán kezdődtek meg és 2017. december végére fejeződtek be. Többlet energiát a hálózatra a naperőművek tervezetten nem fognak termelni. Abban az esetben, ha a fűtőművek a megtermelt villamos energiát mégsem használnák el, akkor a közcélú hálózatba kerül visszatáplálásra.

* * *

Füredi utcai naperőmű

Telepítés helyszíne: 1144 Budapest, Füredi utca 53-63., fűtőmű épület tető.

A napelemes termelőegység összesen 1 db inverterből és 76 db, egyenként 280 Wp teljesítményű polikristályos modulból áll, amelyek összesen ~123 m^2 aktív napelem-felületet jelentenek. A beépített szoláris teljesítmény így névlegesen 21,28 kW_p. A naperőmű a telephely belső 0,4 kV-os hálózatára csatlakozik, azonban a telephely középfeszültségű elosztó-hálózati csatlakozási pontja miatt a villamos energiáról szóló törvény (VET) szerint kiserőműnek minősül. A műszaki átadásra 2017. december 28-án került sor.

A napelem-panelek elhelyezkedését a fűtőmű épületének tetején az 1. kép mutatja.

1. kép. **A Füredi utcai fűtőmű tetőszerkezetén elhelyezett napelemek**

Újpalotai naperőmű

Telepítés helyszíne: 1158 Budapest, Késmárk utca 2-4., fűtőmű épület tető.

A napelemes termelőegység összesen 1 db inverterből és 76 db, egyenként 280 Wp teljesítményű polikristályos modulból áll, amelyek összesen ~123 m^2 aktív napelem-felületet jelentenek. A beépített szoláris teljesítmény így névlegesen 21,28 kW_p. A naperőmű a telephely belső 0,4 kV-os hálózatára csatlakozik, azonban a telephely középfeszültségű elosztó-hálózati csatlakozási pontja miatt a villamos energiáról szóló törvény (VET) szerint kiserőműnek minősül. A műszaki átadásra 2017. december 28-án került sor.

A napelem-panelek elhelyezkedése a fűtőmű épületének tetején a 2. képen látható.

2. kép. **Az újpalotai fűtőmű tetőszerkezetén elhelyezett napelemek**

Rákoskeresztúri naperőmű

Telepítés helyszíne: 1173 Budapest, Gyökér utca 63., fűtőmű épület tető.

A napelemes termelőegység összesen 1 db inverterből, 28 db teljesítmény-optimalizáló készülékből és 56 db, egyenként 280 Wp teljesítményű polikristályos modulból áll, amelyek összesen ~90 m^2 aktív napelem-felületet jelentenek. A beépített szoláris teljesítmény így névlegesen 15,68 kW_p. A naperőmű a telephely belső 0,4 kV-os hálózatára csatlakozik, és a telephely kisfeszültségű elosztó-hálózati csatlakozási pontja miatt a villamos energiáról szóló törvény (VET) szerint háztartási méretű kiserőműnek minősül. A műszaki átadásra 2017. december 28-án került sor.

A napelem-panelek elhelyezkedését a fűtőmű épületének tetején a 3. kép mutatja.

Az 1. táblázat a naperőművek prognosztizált éves villamosenergia-hozamait mutatja.

A napelem telepítési projektek hozzájárulása a Virtuális Erőmű programhoz

A naperőművek által termelt villamos energiát Társaságunknak nem kell a villamosenergia-szolgáltatótól megvásárolnia, így az a telephelyek energiamérlegében megtakarításként jelenik meg, hozzájárulva

[1] A cikk a Virtuális Erőmű Program megbízásából készült.

3. kép. **A rákoskeresztúri fűtőmű tetőszerkezetén elhelyezett napelemek**

1. táblázat

Megnevezés	Beépített szoláris teljesítmény	Figyelembe vehető csúcs-kihasználási óraszám	Naperőmű prognosztizált éves termelése
	kW_p	kWh/kW_p (óra)	kWh
Füredi utcai naperőmű	21,28	1 088	23 153
Újpalotai naperőmű	21,28	1 088	23 153
Rákoskeresztúri naperőmű	15,68	1 088	17 060
Összesen:	**58,24**	**1 088**	**63 365**

a fosszilis energia felhasználás és a légszennyező és üvegházhatású gázok kibocsátásának csökkentéséhez.

A Füredi utcai, az újpalotai és a rákoskeresztúri fűtőművekben megvalósult kiserőművek prognosztizált éves átlagos villamosenergia-termelését, erőművi zsinór termelésként értékelve, a projektek hozzájárulása a virtuális erőmű építéséhez:

$$P_{VEP} = 63\,365\ kWh / 8760\ h = 7{,}2\ kW$$

adódik.

Összegezve a Főtáv Zrt. fűtőműveiben megvalósult napelemes projektek 7,2 kW_e értékkel járultak hozzá a virtuális erőmű megépítéséhez.

31. Távhő Vándorgyűlés

2018. szeptember 11-12.

Az Energiagazdálkodási Tudományos Egyesület Hőszolgáltatási Szakosztálya 31. Távhő Vándorgyűlését 2018. szeptember 11-12. között tartotta meg Kecskeméten.

Az „Okos-e a távfűtés?" mottóval és „A 4G, energiahatékony távfűtési megoldások a termelésben, elosztásban és felhasználásban" címmel szervezett programban szereplő témakörök az energiaellátás és a távhőszolgáltatás aktuális vonatkozásai, az okos mérés, az együttműködő hőtermelő rendszerek, valamint épületenergetikai szakmai kérdések és megoldások köré csoportosultak.

Vándorgyűlés foglalkozott a távhőszolgáltatás aktuális kérdéseivel, az energiapiaci mozgások hatásaival, a termelés-elosztás oldali technológiai fejlesztések legfontosabb megoldásaival, a fejlesztések várható eredményeivel valamint energiatudatos megoldásokkal, az energiafelhasználás optimalizálásának időszerű kérdéseivel.

A résztvevők az első napon előadásokat hallhattak

- a távhőszolgáltatás aktuális kérdéseiről,
- az okos hálózatokról és az okos mérés céljáról és megvalósításának lehetőségeiről,
- előző témakörhöz kapcsolódva egy külön blokkban az okos mérés alkalmazásának eredményeiről nyíregyházi és kecskeméti példák alapján,
- az európai energiaellátás új trendjeiről,
- az együttműködő távhőrendszerek szabályozásának kritériumairól és a hőkooperáció várható eredményeiről, az eddigi tapasztalatokról.

A második napon előadóink bemutatták

- a fázisváltós hőtárolós energiatárolás előnyeit,
- az öltözködés hatását az épületek energiafelhasználására,
- az e-közmű (egységes elektronikus közműnyilvántartás) rendszer bevezetésének és alkalmazásának eddigi tapasztalatait és jövőképét, a hatályba lépett újabb rendeletmódosításokat, a szolgáltatási szektorunkban a közműnyilvántartás színvonalának javítása érdekében előttünk álló további feladatokat,
- egy – az ingatlanpiacon versenyképes – LEED GOLG minősítésű, energiahatékony és környezet-központú épület távhőellátását,
- egy szoftver-prezentáció keretében szimulálták az épületek energetikai felújítását követő fűtési rendszerek hidraulikai optimalizálását, a fűtőberendezés-elemek és fűtőközeg paramétereinek megválasztásának és alkalmazásának módjait,
- a távvezetékek tervezésének és építésének kritériumait.

Az előadók magas színvonalú előadásaikban osztották meg kutatási eredményeiket, gyakorlati tapasztalataikat, támogatva ezzel a szakmai ismeretek bővítését, és felhívták a figyelmet a végrehajtandó feladatokra és a megvalósítás egyes változataira.

Az elhangzott előadások közül többet videó-bemutató tett élővé, érdekessé és látványossá.

A résztvevők aktivitásukkal is hozzájárultak a vándorgyűlés sikeréhez, eredményességéhez.

Viszontlátásra a 32. Távhő Vándorgyűlésen 2019. szeptember 17-18-án!

Gerda István
elnök, Hőszolgáltatási Szakosztály

A kínai gazdaság és energetika

Dr. Molnár László
okl. gépészmérnök, lmolnar@t-online.hu

A cikkben bemutatjuk Kína történelmi fejlődését, majd Kína szerepét elemezzük a nemzetközi gazdasági és energetikai piacokon. Az utolsó részben a kínai energiapolitika célkitűzéseit tekintjük át.

*

In the article first the historical development of China is shown then China's position is analysed on the global economic and energy markets. In the last part the aims of the Chinese energy policy are surveyed.

* * *

Majd' két évtizede már, hogy az Energiagazdálkodás minden számába írok cikket. Korábban sokat foglalkoztam a különféle adatokkal (erre a hazai energiastatisztika egykori vezetőjeként kitűnő lehetőségeim voltak és vannak). Később áttértem az európai, illetve az EU energiapolitika vizsgálatára, ezen belül is kiemelt szerepet kapott a gáz- és villamosenergia-ellátás, a megújulók növekvő szerepének elemzése, az Energiewende, az ellátásbiztonság kérdései, az energiaárak alakulása és még számos egyéb kérdés. Kutatásaim közül fontosnak tartom az EU villamos energia jövőjének összevetését az USA-beli, a japán és az ausztrál jövőképekkel. Ez utóbbi vizsgálatok azt mutatták, hogy az EU rendkívül ambiciózus célkitűzéseket tett a megújuló energiákkal és a dekarbonizációval kapcsolatban. Összevetve az említett három fejlett gazdasági óriás sokkal szerényebb céljaival, felmerül, reálisak-e az EU célok? Érdemes-e az irdatlan támogatást a megújulókra fordítani beruházási és üzemeltetési támogatás (kötelező átvétel emelt áron) formájában? Megéri-e a német szél- és napenergiát évi 27 milliárd Euróval támogatni? Nos, az EU lakossága kb. a Föld lakosságának 6-7%-a, mely a britek kilépése után már csak 5-6%-lesz, mely népesség a globális energia fogyasztás mintegy 7-8%-át használja fel. És mennyit fogyaszt Kína? 22%-ot. És India, Brazília és a többi hatalmas fejlődő ország is nagyfogyasztó. Vagyis az EU egyedül nem tudja megmenteni a Földet, mert a dolgok nem az EU-ban dőlnek el, hanem az USA-ban, és főképp Kínában.

Ezért döntöttem úgy, hogy írok egy cikket Kínáról, a kínai energetikáról.

Rövid áttekintés Kínáról

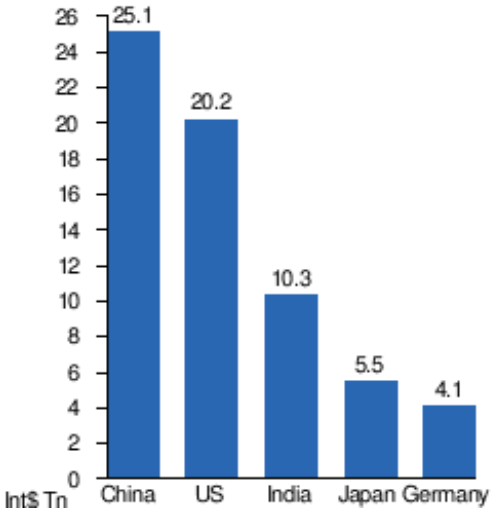
Kína sok ezer éves ország, mely egyike volt a világ első civilizációinak. Évezredeken át, már a Krisztus előtti 21. századtól dinasztiák uralkodtak Kínában, amelynek területe hol növekedett, majd darabokra esett szét, hogy aztán újra integrálódjon. Az európai civilizációval minimális volt a kapcsolata, de saját civilizációja rendkívül fejlett volt, s a kínaiak szerint talán csak a 19. és a 20. évszázadban maradt el az európai gazdasági központok – Anglia, Franciaország stb. – és az USA mögött. Kína fordulatos történelme során a dinasztikus uralkodás 1912-ben véget ért, Kína is köztársaság lett, majd a második világháború után, 1949-ben kommunista államma alakult át.

A mai Kína a világ legnagyobb népességű országa 1,4 milliárd lakossal, és területe is óriási, 9,6 millió km^2.

Az 1978-ban bevezetett gazdasági reformok óta Kína a világ egyik leggyorsabban növekvő gazdasága, ahol a gazdasági növekedés évről-évre meghaladta a 6%-ot. 2016-ra Kína a nominális GDP tekintetében a második legnagyobb gazdaság, míg a vásárlóerővel (PPP) korrigált GDP-je legnagyobb a világon. A világon Kína bonyolítja le a legnagyobb áruexportot és a második legnagyobb importőr. Évtizedek óta a kínai gazdaság rendkívül gyors növekedése volt világszerte a fő siker-téma, mely százmilliókat emelt ki a szegénységből és az energia-szegénységből is. Ennek a gyors fejlődésnek vannak azonban árnyoldalai is. Az összes energiahordozó fogyasztása is extrém módon nőtt, de különösen a szén- és az olajfogyasztás növekedett. Kína a mai napig küzd ezekkel a gondokkal, a túl magas fosszilis energiafogyasztással és annak környezetvédelmi hatásaival. Ezen gondok megoldása több évtizedes modernizációt igényel, ennek keretében Kína a következő negyed században erőltetett ütemben fejleszti a megújuló energiákat és az atomerőműveket, 140 nukleáris blokk megépítése van tervbe véve.

Kína helyzete a világgazdaságban

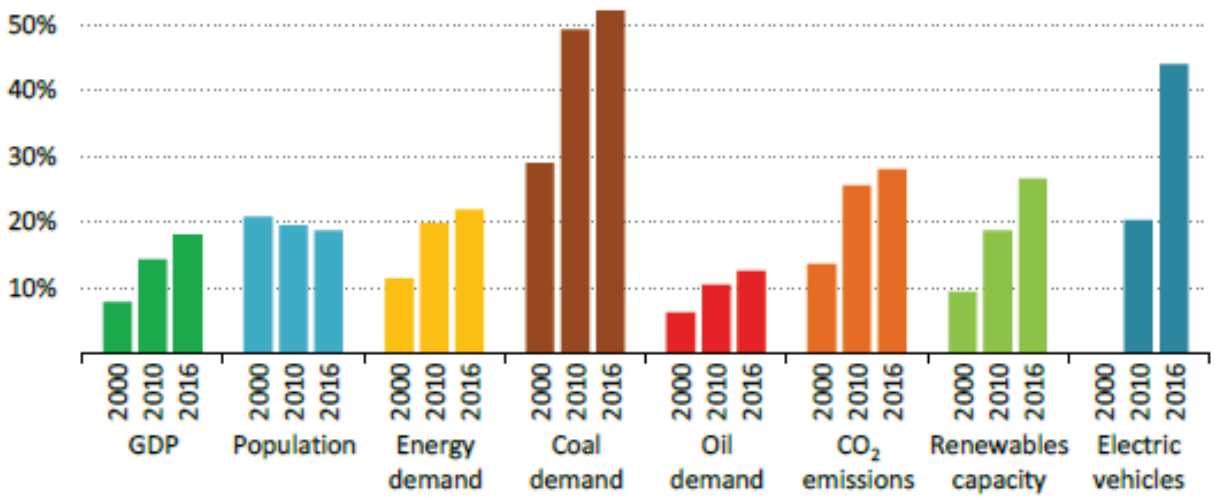
Bár nominálisan az USA GDP-je a legnagyobb a világon 20 400 milliárd USD-vel, és Kínáé csupán 14 100 USD, de a PPP-vel korrigált kínai GDP már nagyobb, mint a US-é (lásd 1. ábra).



1. ábra. **A legnagyobb GDP(PPP)-jű országok 2018-ban, ezer mrd USD** (Forrás: IMF előrejelzés)

A több mint négyszer nagyobb lakosságú Kína vezet az USA előtt, de az egy főre eső GDP-ben még messze elmarad. Érdekes, hogy India a harmadik helyen áll, megelőzve Japánt és Németországot. Kína és India pozíciói jelzik, hogy a jövő Délkelet-Ázsiában dől el, s a világkereskedelem központja a Csendes-óceán lesz.

Nézzük meg, mi Kína helyzete a világban. A 2. ábrán 8 indikátorral mutatjuk be, milyen szerepet tölt be Kína. Az egyes indikátorok balról-jobbra: GDP, népesség, energiafogyasztás, szénfogyasztás, olajfogyasztás, CO_2, megújulók kapacitása, villamos járművek.

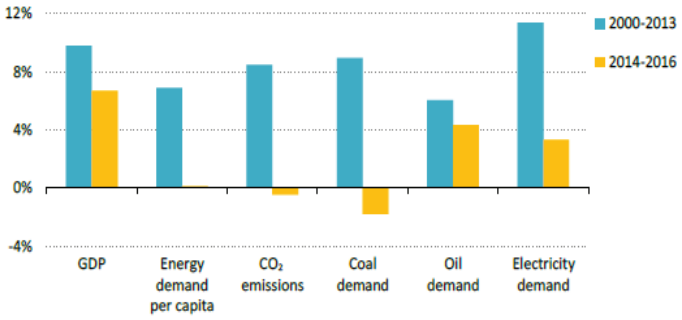


2. ábra. **Kína szerepe a világban, 8 globális indikátor alapján** (Forrás: IEA WEO 2017)

A GDP 2016-os ezer milliárd USD(PPP)-ben van megadva, míg a többi indikátor százalékban.

Az ábra jól mutatja Kína hatalmas részvételét a világ energetikájában, akár a tüzelőanyagokat, akár a technológiákat nézzük. Kína szénfogyasztása meghaladja a globális fogyasztás 50%-át, és a kínai elektromos meghajtású autók száma is közelíti az 50%-ot. A CO_2 kibocsátásban is első Kína, mely sok gondot okoz, mert a kínai nagyvárosokban már tűrhetetlen a levegő minőség.

A kínai éves növekedést mutatjuk be a 3. ábrán hat szelektált indikátor segítségével a 2000-2013, illetve a 2014-2016 közötti időintervallumokra. Az egyes indikátorok balról jobbra: GDP, energiafogyasztás/fő, CO_2 emisszió, szénfogyasztás, olajfogyasztás, villamosenergia-fogyasztás. A GDP 2016-os ezer milliárd USD(PPP)-ben van megadva, míg a többi indikátor százalékban.



3. ábra. **A kínai éves növekedés bemutatása és összevetése a 2000-2013, illetve a 2014-2016 közötti időintervallumokra**
(Forrás: IEA WEO 2017)

Míg 2014-2016 között a gazdaság még mindig gyors ütemben nőtt, addig ugyanebben az időintervallumban az energia igény nem nőtt, hanem stagnált, a CO_2 emisszió és a szénfogyasztás csökkent. Vagyis Kínában jelentős környezetbarát fordulat zajlott le, sikerült csökkenteni a szénfogyasztást és az emissziókat.

Energia a mai Kínában − Merre halad Kína?

A kínai gazdasági és energetikai jövőt az alábbi pontokban lehet összefoglalni:

- Kína változik. A gazdaság elfordul a nehézipartól, és új célja a lakossági fogyasztás, a magasabb hozzáadott értékű feldolgozó ipar, valamint a szolgáltatások fejlesztése. Ennek a strukturális fordulatnak és az energiahatékonyság növelésének következtében az energiafogyasztás folyamatosan csökkent 2016 óta.
- Ezzel párhuzamban az energia-mixben az eddig meghatározó szén és olaj szerepe csökken, s helyüket környezetbarát energiák – nap, szél, atom – veszik át. A szénfogyasztás már három éve csökken. Kína a legnagyobb megújuló energia befektető, és vezető az energiahatékonysági fejlesztések, az új technológiák, a digitalizáció és az elektromos autók terén.
- Kína meghatározó hatással van a globális energia piacok minden területére, az összes energiahordozóra és technológiára. A világméretű szénpiacon pedig döntő a szerepe, lévén Kína a legnagyobb széntermelő és fogyasztó, lefedve a piac legalább felét. Továbbá Kína a legnagyobb olaj importőr, növekvő hatása van a gázpiacokra, a napenergiás technológiák legnagyobb exportőre, és vezető szereplője az összes környezetbarát technika piacának, beleértve a külföldi megújuló energia beruházásokat.
- Kína gazdaságilag és a demográfiai trendeket nézve igencsak megosztott ország. A legfejlettebb és legnagyobb energiafogyasztású régiók a keleti partvidéken helyezkednek el, s itt él a lakosság 35%-a. A kínai kormánynak kiemelt célkitűzése az elmaradott régiók felzárkóztatása.
- Kína négy évtizedes gyors gazdasági fejlődése erős negatív hatással volt a környezetre és az emberek egészségi állapotára. A kormányzat határozott célkitűzése a levegő és a vizek minőségének javítása, illetve a CO_2 emissziók csökkentése.
- A kínai kormány 2014-ben majd 2017-ben meghatározta az ország hosszú távú energiapolitikáját, az „energiaforradalmat", és célul tűzte ki a „biztonságos, fenntartható, diverzifikált és hatékony energia jövőt".

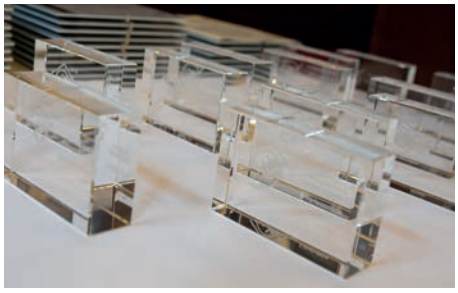
A cikket az Energiagazdálkodás következő számában folytatjuk, ahol beszámolunk a kínai gazdaság- és energiapolitika részleteiről, célkitűzéseiről.

A második legnagyobb hazai erőmű lesz a Virtuális Erőmű

A 2020-ra tervezett céljait már idén tavasszal elérő, a Magyar Innováció és Hatékonyság Nonprofit Kft. (MI6 Nkft.) által működtetett Virtuális Erőmű Program (VEP) sikerét jelzi, hogy a pályázók nagy száma és a program bővülési dinamikája okán idén először egy második alkalommal is díjátadó gálára kerülhet sor a fenntarthatósági szempontból kiemelkedő vállalatok, iskolák és önkormányzatok részvételével.

A hálózatosodási, partnerségi és tudás-megosztási alapokon felépülő VEP 8 év alatt a semmiből mára a 7. legnagyobb hazai „erőművé" nőtte ki magát és 2018 márciusára elérte a 2020-ra tervezett célját, egy 200 MWe-os fosszilis erőmű kiváltását. A MI6 által 2030-ra kitűzött új cél már nem kevesebb, mint az ország második legnagyobb villamos erőművévé válni Paks után, amelynek kihirdetését követően a program menedzsmentje 2018-ban megtöbbszörözte erőfeszítéseit a várt siker érdekében.

Dr. György László, az Innovációs és Technológiai Minisztérium (ITM) államtitkára kiemelte, hogy a minisztérium háttérintézményén, az IFKA-n keresztül részesévé is válik ennek a sikeres mentori együttműködésnek, összekapcsolva annak már működő hálózatait és tudását a MI6 programjával – ezzel is támogatva a kormányzat és a piac még szorosabb együttműködését.



A MI6 ügyvezetője, Dr. Molnár Ferenc bemutatta az új stratégiát, amelyben a hálózatosodás és a partnerség ugrásszerű növelését az ún. „VEP pontokon" keresztül a piaci szereplők minél szorosabb bekapcsolásával képzelik el. Ennek eredményeképpen már fél év alatt olyan partnerekkel bővült a MI6 szövetségeseinek köre, mint a Polgármesterek Szövetsége, az IFKA, kamarák, valamint megyei és helyi önkormányzatok, de folyamatban van az ITM, az EMMI és PM egyre erősebb partnersége mellett a Köztársasági Elnöki Hivatallal, a Belügyminisztériummal és a Climate-KIC-el való együttműködés formalizálása is – amelyek kijelölik a 2019-es, jubileumi X. Díjátadó Gálára való felkészülés kereteit is.

„Folytatódik nemzetközi terjeszkedésünk Anglia után Romániában, Olaszországban és Svédországban is, emellett a Fenntartható Energia és Klíma Akciótervek (SECAP) területén fél év alatt térségi piacvezetővé vált a MI6" – emelte ki a Programot és a nemzetközi bevezetést is irányító Dr. Mezősi Balázs, a vállalat operatív igazgatója. Az önkormányzati klímaterületen elért sikereket Dr. Botos Barbara klímapolitikáért felelős ITM helyettes államtitkár, az önkormányzati blokk eredményei kapcsán külön is méltatta, kiemelve a SECAP-ok kritikus szerepét a 2021-27 forrásszerzésben.

A MI6 klímavédelmi oktatás és szemléletformálás terén 2018-ban az EMMI-vel és a PontVelem Nkft-vel partnerségben 318 ezer diák fenntarthatósági tudásbővítése történt meg. Emellett Dr. Szili Katalin miniszterelnöki megbízott aktív közreműködésével megkezdődött a határon túli magyarságot érintő klímaprogramok tervezése is.

Stabilan bővült a Program alapját képező vállalati terület is: olyan új belépők kaptak vállalati díjat, mint a MOL Nyrt. a CO-OP Hungary Zrt. vagy a Rail Cargo Hungária Zrt.

Magyar Innovációs és Hatékonyság Nonprofit Kft.

A klímapolitikáért és az energetikáért felelős helyettes államtitkárok[1]

Lapunk előző számában bemutattuk a magyar energiagazdaságért felelős minisztereket és államtitkárokat. Most Dr. Kaderják Péter államtitkár munkáját segítő két helyettes államtitkár életpályáját és tömören megfogalmazott célkitűzéseiket tesszük közzé.

Dr. Botos Barbara, klímapolitikáért felelős helyettes államtitkár

Dr. Botos Barbara, klímapolitikáért felelős helyettes államtitkár a József Attila Tudományegyetem, Bölcsészettudományi és Természettudományi Karán 1996-ban biológia-angol szakon végzett, majd környezetpolitika és környezettudomány területen szerzett MSc fokozatot. Ezt követően az Eötvös Loránd Tudományegyetem, Természettudományi Kar, Földtudomány Doktori Programjának keretében 2006-ban PhD tudományos fokozatot. 2009-2010 években Hubert H. Humphrey ösztöndíjjal a New York Állam, Cornell Egyetemének „Város- és Regionális Fejlesztés" posztgraduális képzését abszolválta és az alaszkai Institute of the North munkatársaként tevékenykedett.

A Károli Gáspár Református Egyetem Tanítóképző Főiskolai Karon végzett oktatói tevékenységét (1996 – 2004) követően a Tatabánya Megyei Jogú Város Önkormányzatának környezeti nevelési, majd stratégiai referense volt, majd 2010-től helyettes államtitkári kinevezéséig a Nemzeti Fejlesztési Minisztérium, Klímapolitikai Főosztályán volt osztályvezető, főosztályvezető-helyettes, 2016–tól főosztályvezető.

Helyettes államtitkár asszony szerint ma már nincs helye az éghajlatváltozás tényével kapcsolatos vitáknak, sokkal inkább az egyes országok arra adott válaszaira, cselekvőképességére kerül a hangsúly. Hiszen az éghajlatváltozás elleni cselekvés ma már messze nem csak ökológiai szükségszerűség, hanem egyben gazdasági racionalitás is, amelyet egyre több ország ismer fel. Mindehhez pedig a 2015-ben elfogadott Párizsi Megállapodás keretében tett vállalások is olyan lehetőségeket nyitnak meg, amelyek óriási beruházási igényeket generálnak szerte a világon, így Magyarországon is. A Párizsi Megállapodás alatt ugyanis szinte a világ összes országa olyan kibocsátás-csökkentési vállalásokat tett, amelyek rendkívül nagyméretű technológiaváltási, modernizálási igényeket keletkeztetnek. Ennek eredményeként pedig a jövőben jelentős piaci átrendeződés mehet végbe. Ezért úgy véli, az éghajlatváltozás ténye ma már talán legalább annyira lehetőség, mint probléma. Az egyes országok pedig maguk döntik el, hogy a klímaváltozás elleni fellépés élére állnak-e, maximalizálva az előnyöket vagy megvárják, amíg rákényszerülnek a cselekvésre, és addig viszont elszenvedik a változásokat. Fontos, hogy Magyarország a klímaváltozás elleni fellépés élére álljon. A Párizsi Megállapodás úttörő jelentőségű abban is, hogy kimondja: a pénzügyi források áramlását összhangba kell hozni az üvegházhatású gázok alacsonyabb szintű kibocsátására és az éghajlatváltozással szembeni ellenálló képesség fejlesztésére irányuló erőfeszítésekkel. Ennek eredményeként a világ el fog mozdulni a zöld beruházások felé, amelyek a klímasemleges gazdasági fejlődési pályát támogatják. Ennek jelei ma már világosan látszanak például abban, hogy egyre többen vonják ki befektetéseiket a fosszilis alapú energiahordozókból. Emellett szabályozási oldalról is érezhető egy ilyen típusú befektetői környezet kialakítására való igény.

Az éghajlatváltozás és annak hatásai feltételezhetően hazánk hosszú távú fejlődési lehetőségeit meghatározó tényezők lesznek, ugyanis az előrejelzések szerint a Kárpát-medencében az európai átlagnál súlyosabb következményekkel járhat az éghajlatváltozás. A jövőben gyakoribbá válnak az ár- és belvizek. A belvíz már ma is az ország területének 23%-át veszélyezteti, ami európai összevetésben is magas arány. Az özönvízszerű esőzések, orkánerejű viharok, hóviharok, hőhullámok gyakoriságának növekedésére is számítani kell, csakúgy, mint a szélsőséges vízállások, az aszályos időszakok hosszának növekedésére, és mindennek következményeként a biológiai sokféleség csökkenésére. Az egyes ágazatok eltérő sérülékenysége és az időjárási elemek változásából fakadó hatások területi különbségei ráadásul a magyarországi regionális és településhálózati egyenlőtlenségek további elmélyülését is okozhatják, mivel hazánkban alapvetően különböző az egyes települések és térségek érzékenysége és alkalmazkodóképessége. Így pedig mind a mezőgazdasági termelés, a vízgazdálkodás, a közlekedési és közmű infrastruktúrák, az épített környezet, mind pedig az erdőgazdálkodás biztonságos működését és jó állapotát veszélyeztetik, és kihatnak a lakosság egészségügyi állapotára. Mindezek alapján kiemelten fontos, hogy Magyarország saját stratégiai tervezése során és fejlesztéspolitikájában is tudatosan kezelje a klímaváltozás jelenségét, különös figyelemmel az éghajlatváltozáshoz mérséklése, valamint az éghajlatváltozáshoz való alkalmazkodás területére, hogy alkalmazkodni tudjunk az elkerülhetetlenhez, és elkerüljük az elkerülhetőt.

A fenti jelenségek, várható következmények és kitörési lehetőségek beazonosítására az Innovációs és Technológiai Minisztérium egy úgynevezett nemzeti IPCC (ENSZ Éghajlatváltozási Kormányközi Testülete) jelentés elkészítését kezdeményezi. Ez a rendhagyó dokumentum az IPCC jelentéseihez hasonlóan össze kívánja foglalni a rendelkezésre álló hazai tudományos publikációkat, és anélkül, hogy előíró lenne, kitörési pontokat is beazonosít majd a döntéshozók számára.

Kádár Andrea Beatrix, energetikáért felelős helyettes államtitkár

Kádár Andrea Beatrix, energetikáért felelős helyettes államtitkár a Budapesti Műszaki Egyetemen 1993-ban kapott vegyész üzemmérnök, 1995-ben biomérnök oklevelet. 2003-ban és 2008-ban az Insitut Européen d'Administration Publique, 1998-ban a Clingendael – Netherlands Institute of International Relations intézményekben folytatott tanulmányokat. 2003-2010 között a Külügyminisztériumban töltött be különböző tisztségeket. 2011-2012 között a Külügyminisztérium, Európai Ügyekért Felelős Helyettes Államtitkárságon EU stratégiai ügyekben volt tanácsadó, 2010-2012 között az Európai Unió mellett, Brüsszelben Magyarország Állandó Képviseletén teljesített külszolgálatot. A 2011-es Magyar EU-elnökség alatt tanácsi munkacsoport elnöki teendőket látott el. 2012-2014 években a Miniszterelnökség, Nemzetbiztonsági Irodáját vezető helyettes államtitkári teendőket látta el. 2014-2018 között a Nemzeti Fejlesztési Minisztériumban az energiaügyekért felelős helyettes államtitkári feladatokat. 2018-tól az Innovációs és Technológiai Minisztérium energiaügyekért felelős helyettes államtitkára.

Helyettes államtitkár asszony a magyar energetikáért végzett munkája során fontosnak tekinti, hogy a klímapolitikai célokat is szem előtt tartva, tovább erősítsük Magyarország ellátásbiztonságát, javítsuk versenyképességét oly módon, hogy mindeközben garantáljuk a fogyasztók megfizethető árakon és megbízhatóan történő energiaellátásának fenntarthatóságát.

Az energiaszektor világszerte radikális változáson megy keresztül, s ez az átmenet az elkövetkező időszakban várhatóan gyorsul. Komplex, sokszereplős, valódi struktúraváltást igénylő folyamattal állunk szemben, de ennek során építeni kell és lehet már végbement és várható technológiai, piaci, szabályozási trendekre. A hazai energiaszektor olyan változások előtt áll, amelyek az energia és klímapolitikai kérdéseket is felölelő integrált stratégiai tervezést kívánnak az eredményes átmenet megvalósítása érdekében.

Magyarország magas, nyolcvan százalék feletti földgázimport-kitettséggel rendelkezik. Az elmúlt években a magyar kormány komoly erőfeszítéseket tett az egyoldalú importfüggőség megszüntetéséért. A hazai ellátásbiztonság garanciája a regionális szinten is kiemelkedő tárolói kapacitás, valamint az, hogy Szlovénia kivételével a minden szomszédos országgal megteremtettük a gázinfrastruktúra összeköttetését. A hazai szénhidrogén-kitermelés csökkenését az elmúlt évek sikeres bányászati koncessziós tenderei várhatóan képesek lesznek megállítani.

A villamosenergia-szektor jövőképét a decentralizált termelés, a dekarbonizáció és a digitalizáció hármasa határozza meg. Az ágazatban az ipari szereplők és az állami szabályozás közös feladata, hogy a fogyasztók számára tiszta, okos és megfizethető energiaszolgáltatást biztosítsanak az ellátásbiztonság garantálása mellett.

A jövő energiarendszere, ellátásbiztonsága a ma meghozott döntésektől függ, amelyek kulcselemei: a megfelelő rugalmasság biztosítása, a digitalizáció és az innovációs lehetőségek kihasználása. Ennek érdekében a kormányzat részéről aktivizálni kívánjuk a szektorális kutatási és innovációs törekvéseket is főként a villamosenergia-tárolás, a megújuló erőforrások hasznosítása, a digitalizáció vagy a fogyasztó oldali piaci részvétel ösztönzése érdekében.

A helyettes államtitkár asszonyok kinevezéséhez gratulálunk, felelősségteljes munkájukhoz sok sikert kívánunk.

[1] Forrás: http://www.kormany.hu/hu/innovacios-es-technologiai-miniszterium/helyettes-allamtitkarok

Kedves Tagtársunk!

Szíves tájékoztatásul közöljük az Energiagazdálkodási Tudományos Egyesület Szenior Energetikusok Klubjának 2018. II. félévi programját. A program végrehajtása során figyelemmel leszünk arra, hogy a résztvevőket megismertessük a Magyar Elektrotechnikai Múzeum eredményes működésével.

Klubunk nyitott, minden érdeklődőt szívesen látunk az előadásunkon függetlenül attól, hogy tagja-e valamely szakmai egyesületnek vagy sem.

IX. 13. **Wiegand Győző,** az ETE elnökhelyettese **(KLUBNAP)**
Prognózisok, jövőképek az energetikában a valóság tükrében
Házigazda: Szabó Benjamin

IX. 20. **Kimpián Aladár,** ny. főmérnök
Nemzeti villamosenergia-rendszer skandináv módra, 2. rész. Norvégia
Házigazda: Szabó Benjamin

IX. 27. **Dr. Reményi Károly,** akadémikus
Energetika és szén-dioxid, globális felmelegedés
Házigazda: Szabó Benjamin

X. 4. **Horváth Gábor,** projektigazgató, Óbuda-Újlak Zrt.
LIGET Budapest projekt – kihívások, tanulságok
Házigazda: Szabó Benjamin

X. 11. **Bencsik Tibor,** MAVIR igazgató
A villamos átviteli hálózat fejlesztése és üzemeltetése
Házigazda: Forgács János

X. 18. **Kaiser Ferenc,** egyetemi docens, Nemzeti Közszolgálati Egyetem
Édesvíz szűkösség, illetve annak globális hatásai
Házigazda: Lengyel János

X. 25. **Cserháti András,** műszaki főszakértő (MVM Paksi Atomerőmű Zrt.)
Atomenergetika a világban és itthon – adatok, események, trendek, érdekességek
Házigazda: Szabó Benjamin

XI. 8. **Görgey Péter,** nyugalmazott főmérnök
Digitális esélyek, digitális veszélyek
Házigazda: Kimpián Aladár

XI. 15. **Csallóközi Zoltán,**
Hazai gázellátásunk aktuális helyzete
Házigazda: Elek János

XI. 22. **Hózer Zoltán (AEKI),**
Az új paksi blokkok üzemanyaga
Házigazda: Czibolya László

XI. 29. **Fichtinger Gyula,** főigazgató
Paks II. a nukleáris biztonsági hatóság szemszögéből
Házigazda: Czibolya László

XII. 6. **Dr. Almár Iván,** csillagász
Ötven éve jutott el az ember a Holdra – egy szemtanú visszaemlékezései
Házigazda: Szabó Benjamin

XII. 13. **Elek János,** gépészmérnök
Építsünk erőművet?!
Házigazda: Szabó Benjamin

XII. 20. **Görög Ibolya,** protokoll szakértő **(KLUBNAP)**
Európai viselkedéskultúra alapjai
Házigazda: Szabó Benjamin

Az ülések helye és ideje:
Magyar Elektrotechnikai Múzeum, Zipernovszky terem II. emelet
Budapest, VII. Kazinczy u. 21.
Az előadások kezdése: 10 óra

Szabó Benjamin s.k.
a Szenior Energetikusok Klub elnöke

Változott a „Lakóépületek energiahatékonyságának és megújuló energia felhasználásának növelését célzó hitel” című Hitelprogram termékdokumentációja

Tájékoztatjuk a Tisztelt Kölcsönigénylőket, hogy a Széchenyi 2020 keretében megjelent, „Lakóépületek energiahatékonyságának és megújuló energia felhasználásának növelését célzó hitel” című (GINOP-8.4.1/A-17 kódszámú) Hitelprogram termékdokumentációjában az alábbi fontosabb módosítások történtek, melyek 2018. október 4-től lépnek hatályba:

Termékleírás:

a) társasházi/lakásszövetkezeti igénylők esetében a Hitelprogram teljes keretösszegéből rendelkezésre álló rész 25%-ról 50%-ra emelkedik;

b) természetes személyeknél az életkori határ 75 évről 80 évre emelkedett;

c) kiegészült az osztatlan közös tulajdonban lévő ingatlanok felsorolása a sorházzal és a többlakásos épülettel;

d) természetes személyeknél kiegészítésre kerültek az ingatlantípusok az ingatlan-nyilvántartás szerinti megfelelőség alapján bel-, kül-, zártkerti ingatlanként;

e) az elszámolható munkadíj mértéke az elszámolható anyagköltséghez viszonyítva 60%-ról 120%-ra emelkedett;

f) a használatbavételi engedéllyel kapcsolatos 180 napos határnapok törlésre kerültek;

g) társasházi/lakásszövetkezeti igénylők esetén 1,5 millió forintig/lakás, de maximum 50 millió forintig az igénylőnek nem kell biztosítékot nyújtania (biztosíték nyújtása a 1,5 millió forint/lakás vagy az 50 millió forint feletti részre vonatkozik és csak a 1,5 millió forint/lakás vagy az 50 millió forintot meghaladó kölcsönösszegre szükséges biztosítékot nyújtani);

h) társasházi/lakásszövetkezeti igénylők esetén a fedezettségi szint 20%-ról 10%-ra módosult;

i) bevezetésre került, a maximum 8 lakásos társasházi/lakásszövetkezeti lakások, sorházak, ikerházak (természetes személy igénylő) esetén a megújuló energiafelhasználásra vonatkozó tevékenységek köre;

j) a kölcsönszerződés megkötésétől számított rendelkezésre tartási idő természetes személyek esetén 18 hónapra emelkedik, mely különösen indokolt esetben 3 hónappal meghosszabbítható, míg társasházak/lakásszövetkezetek esetén a rendelkezésre tartási idő 24 hónapra emelkedik;

k) a projekt fizikai befejezésének határideje természetes személyek esetén 18 hónapra, míg társasházak/lakásszövetkezetek esetén 24 hónapra módosul;

l) egyéb szövegezésbeli pontosítások, kiegészítések.

Eljárási Rend:

a) természetes személyeknél az életkori határ 75 évről 80 évre emelkedett;

b) pontosításra kerültek a kölcsönügyletbe bevont Adóstársra vonatkozó feltételek;

c) kiegészült az osztatlan közös tulajdonban lévő ingatlanok felsorolása a sorházzal és a többlakásos épülettel;

d) természetes személyeknél kiegészítésre kerültek az ingatlantípusok az ingatlan-nyilvántartás szerinti megfelelőség alapján bel-, kül-, zártkerti ingatlanként;

e) a feltételes szerződés mellett az árajánlat is elfogadható;

f) az elszámolható munkadíj mértéke az elszámolható anyagköltséghez viszonyítva 60%-ról 120%-ra emelkedett;

g) nyílászárók esetén a fajlagos költséghatár nettó 60 ezer forintról 110 ezer forintra, míg a határoló szerkezetekre vonatkozó hőszigetelési elszámolható költséghatár 15 ezer forintról 20 ezer forintra emelkedett;

h) pontosításra, kiegészítésre kerültek a napelemes rendszerek teljesítményére vonatkozó előírások;

i) meghatározásra került a diákhitel figyelembevételére vonatkozó 2%-os mérték;

j) a használatbavételi engedéllyel kapcsolatos 180 napos határnapok törlésre kerültek;

k) pontosításra kerültek az elfogadható tulajdoni lap másolatok típusai (kizárólag a Földhivatal által kiállított hiteles, közjegyző vagy ügyvéd által hitelesített, illetve az ügyfél által Ügyfélkapun keresztül lekért e-hiteles tulajdoni lap másolat fogadható el), illetve pontosításra került a hatályosság, mely alapján a tulajdoni lap másolat a hitelkérelem benyújtásához viszonyítva nem lehet 30 napnál régebbi;

l) a társasházi/lakásszövetkezeti igénylők esetén a területfoglalási díj, munkaterület őrzés költségei elszámolható költségekké váltak;

m) társasházi/lakásszövetkezeti igénylők esetén 1,5 millió forintig/lakás, de maximum 50 millió forintig az igénylőnek nem kell biztosítékot nyújtania (biztosíték nyújtása a 1,5 millió forint/lakás vagy az 50 millió forint feletti részre vonatkozik és csak a 1,5 millió forint/lakás vagy az 50 millió forintot meghaladó kölcsönösszegre szükséges biztosítékot nyújtani);

n) módosításra kerültek a jelzáloggal terhelt ingatlanok elfogadhatóságának feltételei;

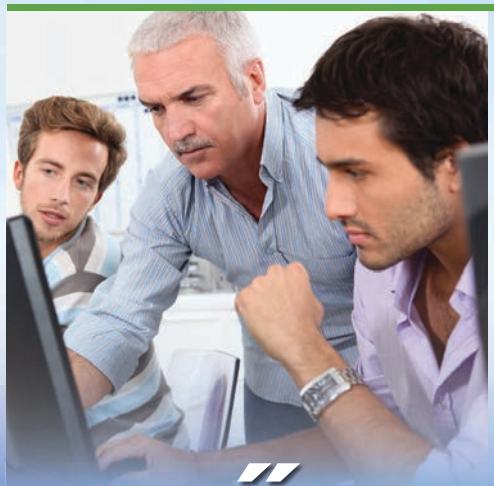
o) a folyósítási feltételek esetén külön kiemelésre került a napelemes rendszer kiépítésére vonatkozó szabály;

p) egyéb szövegezésbeli pontosítások, kiegészítések.

Forrás:
https://www.palyazat.gov.hu/vltozott-a-lakpletek-energiahatkonysgnak-s-megjul-energia-felhasznlsnak-nvelst-clz-hitel-cm-hitelprogram-termkdokumentcija

HOTEL YACHT, SIÓFOK
2019. MÁRCIUS 7-8.

KLENEN'19



KLÍMAVÁLTOZÁS
ENERGIATUDATOSSÁG
ENERGIAHATÉKONYSÁG
XIV. KONFERENCIA, KIÁLLÍTÁS ÉS INNOVÁCIÓS ÖTLETBÖRZE

ELSŐ FELHÍVÁS

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

Az energiahatékonysági törvény végrehajtásának tapasztalatai, energetikai audit eredmények bemutatása

Előadás tartására jelentkezési határidő 2018. október 15.

További információ

www.klenen.eu

aeecenter.org | ete-net.hu | eszk.org | virtualiseromu.hu | bpmk.hu | bkik.hu

Médiapartnereink:
ENERGIAGAZDÁLKODÁS
PERSPECTIVE

VET 125 jubileumi emlékfélév

Az Energetikai Szakkollégium 2018/2019-es tanév őszi féléves programterve

2018. szeptember 13.	VET 125 jubileumi előadás a Műegyetemi 125 éves villamosmérnök képzésről	Dr. Berta István *(BME-VET)* Dr. Vokony István *(BME-VET)* Dr. Veszprémi Károly *(BME-VET)*
2018. szeptember 17.	ISD Dunaferr, Dunai Vasmű	ÜZEMLÁTOGATÁS
2018. szeptember 27.	Olajvállalat az innováció útján - a MOL 2030-as stratégiája	Hernádi Zsolt *(MOL, elnök-vezérigazgató)*
2018. október 4.	A holnap villamos hálózatának új elemei	Pintér László *(E.ON)*
2018. október 11.	Dunamenti Erőmű Zrt., napelempark és alállomás	ÜZEMLÁTOGATÁS
2018. november 5.	GólyaPaks	ÜZEMLÁTOGATÁS
2018. november 8.	E-mobilty'18	*Előadó felkérés alatt*
2018. november 14.	ELMŰ Akadémia	ÜZEMLÁTOGATÁS
2018. november 15.	Innováció és reguláció kapcsolata	*Előadó felkérés alatt*
2018. november 22.	The Way - Az ITER jelenlegi állása	*Előadó felkérés alatt*

Előadásaink helyszíne, időpontja: Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Q épület BF12-es terem, 18:00
Bővebb információ a www.eszk.org honlapon olvasható.
A programváltozás jogát fenntartjuk.

Minden jog fenntartva
©Energetikai Szakkollégium