

# Dunaújváros

A Dunaújvárosi Egyetem online folyóirata 2024. XII. évfolyam X. szám

Műszaki-, Informatikai és Társadalomtudományok

**HORVÁTH MIKLÓS-KISS ENDRE**  
Elektrosztatikus technológiák a  
levegőtisztaság-védelemben

**KOVÁCS-BOKOR ÉVA-  
SZABÓNÉ JUHÁSZ ILDIKÓ**  
Konverteriszapos talajkeverék ólom-  
és cinktartalmának csökkentése fito-  
extrakcióval

**FARKAS IMRE-ODRY PÉTER**  
Atomerőmű lehűlési folyamatának  
szimulálása Matlabbal, remanens  
hő elvonása és energiakinyerés  
TEG-gel

**MIHALOVICSNÉ KOLLÁR ANITA**  
Az e-kereskedelem és a UX: sikeres  
online vásárlás kulcsa

**GELENCSÉR ISTVÁN-TÓBEL IMRE**  
Energiaközösség



# Dunakavics

A Dunaújvárosi Egyetem online folyóirata 2024. XII. évfolyam X. szám

Műszaki-, Informatikai és Társadalomtudományok

MEGJELENIK ÉVENTE 12 ALKALOMMAL

SZERKESZTŐBIZOTTSÁG

András István, Bacsa-Bán Anetta, Balázs László,  
Nagy Bálint, Németh István, Kovács-Bokor Éva, Rajcsányi-Molnár Mónika.

Felelős szerkesztő Németh István  
Tördelés Duma Attila

Vendégszerkesztő/Honorary editor Kovács-Bokor Éva

Szerkesztőség és a kiadó címe 2400 Dunaújváros, Táncsics M. u. 1/a.

Kiadja DUE Press, a Dunaújvárosi Egyetem kiadója  
Felelős kiadó Dr. habil András István, rektor

<http://dunakavics.uniduna.hu/>

ISSN 2064-5007

# Tartalom

HORVÁTH MIKLÓS-KISS ENDRE

***Elektrosztatikus technológiák a levegőtisztaság-védelemben***

5

KOVÁCS-BOKOR ÉVA-SZABÓNÉ JUHÁSZ ILDIKÓ

***Konverteriszapos talajkeverék ólom- és cinktartalmának csökkentése fitoextrakcióval***

13

FARKAS IMRE-ODRY PÉTER

***Atomerőmű lehűlési folyamatának szimulálása Matlabbal, remanens hő elvonása és energiakinyerés TEG-gel***

25

MIHALOVICSNÉ KOLLÁR ANITA

***Az e-kereskedelem és a UX: sikeres online vásárlás kulcsa***

45

GELENCSÉR ISTVÁN-TÓBEL IMRE

***Energiaközösség***

53

***Galéria***

(Németh István Péter fotói)

63



## *Elektrosztatikus technológiák a levegőtisztaság-védelemben*

**Összefoglalás:** Napjainkban az ipari fejlődés és a motorizáció egyre súlyosabb terheket ró a környezetre. A környezetvédelmi problémák közül is központi helyet foglal el a levegőtisztaság védelme, a levegő minőségének megőrzése. A levegőszennyező anyagok jelentős része mérgező és vissza nem fordítható káros hatással van az emberre, az állat- és növényvilágra; egyes gázok pedig az építmények, műemlékek rongálódását idézik elő. Ugyanakkor a légszennyezés nem ismer országhatárokat, a savas esők és az ózonlyuk miatti ultraibolya sugárzás káros hatásai mindannyiunkat érintenek. A Természettudományi és Környezetvédelmi Tanszéken több mint harminc éve foglalkozunk levegőtisztaságvédelmi technológiákkal. A tanszék profiljának és hagyományainak megfelelően a villamos kisüléseken alapuló technológiák alkalmazhatóságát és hatásosságát vizsgáltuk különböző szennyező gázokra valamint por- és gázkeverékére. Írásunkban a a levegőtisztaság-védelmi kutatások előterébe került „nemtermikus plazma” vagy a szakirodalomban PCDP (Pulsed Corona Discharge Process) néven említett technológiáról, valamint a porleválasztó ciklon és a PCDP egyesítése alapján működő olyan reaktorról lesz szó, amely egyszerre alkalmas a levegő-, por- és gázszennyezésének lényeges csökkentésére. **Kulcsszavak:** Villamos kisülés, koronareaktor, gázbontás, porleválasztás, ciklon.

**Abstract:** Nowadays, industrial development and motorization are putting increasingly heavy burdens on the environment. The air pollution control and the preservation of air quality are extremely important among environmental protection problems. A significant number of air pollutants are toxic and have an irreversible harmful effect on humans, animals and plants, and some gases cause damage to buildings and monuments. Nevertheless the air pollution is not stopped by borders, the hazardous effects of acid rain and ultraviolet radiation due to the ozone hole affect us all.

\* *Dunaiújvárosi Egyetem,  
Műszaki Intézet*  
E-mail: horváth.miklos@  
uniduna.hu

\*\* *Dunaiújvárosi Egyetem,  
Műszaki Intézet*  
E-mail: kiss.endre@uniduna.hu

[1] Kawamura, K.–Aoki S.–Kimura H.–Fuji T.–Mizutani S.–Higo T.–Ishikawa R.–Adachi K.–Hosoki S. (1988): Pilot plant experiment of  $\text{NO}_x$  and  $\text{SO}_2$  removal from exhaust gases by electron-beam irradiation. *Radiation Physics and Chemistry*, 13., pp. 5–12.

The research group of the Department of Natural Sciences and Environmental Protection, has been dealing with the air pollution control technologies for more than thirty years. In accordance with the profile and traditions of the department, the research group examined the applicability and effectiveness of technologies based on electric discharges for various polluting gases and dust and gas mixtures. The lecture will discuss the technology called „non-thermal plasma” or PCDP (Pulsed Corona Discharge Process), as well as a reactor based on the combination of dust separation cyclone and PCDP, which is suitable for significant reduction of both dust and gas pollution of the air.

**Keywords:** Electrostatic discharge, corona reactor, gas decomposition, cyclone.

## Bevezetés

A kéndioxid káros hatásai közismertek: izgatja a légutakat, ha azonban porszemcsékre adszorbeálva, vagy szulfátokkal együtt lélegzi be az ember, káros hatásokat vált ki. A kibocsátott kén-dioxid a levegőbe kerülve  $\text{SO}_3$ -dá oxidálódik, amelynek egy részéből  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , másik részéből  $\text{H}_2\text{SO}_3$  keletkezik. A légtérben a kénsavból szulfátok, a kénessavból szulfitok keletkeznek, amik később szintén szulfátokká oxidálódnak. Nagy nedvességtartalom esetén nagyobb szulfátszemcsék és kénsavcseppek keletkeznek. A szulfátok szemcse- és a kénsav cseppmérete 0.2–0.6  $\mu\text{m}$ , ami miatt a tüdőbe könnyen be tudnak hatolni.

A kén-dioxid és a másodlagos reakciókban képződött származékai a kibocsátás helyétől 100 km távolságban is károsíthatják a növényzetet, szennyezhetik a talajt és a vízkészletet [1].

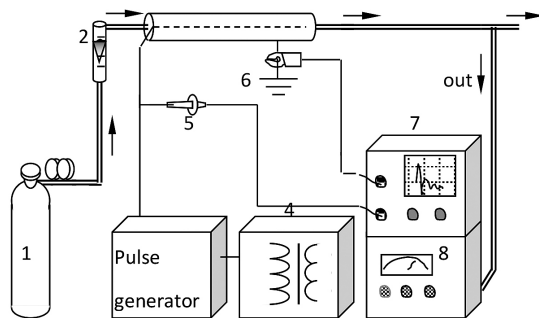
A nitrogén-oxidok szintén károsak az egészségre és rendkívül reakcióképesek. A nitrogén-oxidok a kén-dioxidokkal tisztítják az élő környezetet, de az épületek, műemlékek is károsodnak a savas esők miatt. A nitrogén-oxidok és a belsőégésű motorok által emittált telítetlen szénhidrogén vegyületek a felelősek a nagyvárosokban a napsugárzás hatására kialakuló fotokémiai szmogért, ami szintén rendkívül veszélyes az emberi egészségre, valamint a környezet állapotára. A porszennyezés szintén jelentős mértékben terheli a környezetet. A nehézipar és a közlekedés okozza a legnagyobb porszennyezést. A füstgázok kén-dioxid és nitrogén-oxid tartalma a jól ismert adszorpciós és katalitikus eljárások mellett hatékonyan csökkenthető nagyfrekvenciájú impulzusok által létrehozott koronakisülésben.

Kísérleteink alapján kijelenthető, hogy a szennyező gáz felbontási aránya és hatásfoka egyéb paraméterek mellett függ a koronaimpulzusok polaritásától, és alakjától (nagyság, meredekség, félérték-szélesség) [2], [3], [4], [5]. A füstgázok portartalmának csökkentésére az elektrosztatikus porleválasztók mellett bevált eszköz a ciklon. Ez az eszköz mechanikusan, a füstgázok perdületét és az itt fellépő inercia erőket felhasználva választja le a porszemcséket. A ciklonok geometriája lehetővé teszi, hogy az eszköz tengelyébe elektródát beépítve elektrosztatikus porleválasztóként, illetve koronakisüléssel működő gázbontó reaktorként is működjön. A készülék és a kisülések paramétereit optimalizálva így lehetővé válik egyetlen eszközzel a füstgázok megtisztítása a porszennyeződéstől, és a veszélyes gázoktól.

### A kísérleti elrendezés

A gázbontó reaktor esetében a kísérletek során a keverő palackból 20–200l/h intenzitással vezettük be a gázkeveréket a hengeres típusú reaktorba. A gázkeverék 150–700 ppm koncentrációjú nitrogén-oxid, illetve kén-dioxid volt tiszta nitrogénben, illetve levegőben hígítva. A transzformátor által előállított feszültségből egy kapacitív áramkör [1] hozta létre a nagyfeszültségű impulzusokat, amiket a reaktor tengelyében kifeszített szóróelektródra kapcsolunk.

1. ábra. A gázbontáshoz használt kísérleti elrendezés



1: Gázkeverék, 2: Áramlásmérő, 3: Koronareaktor, 4: Nagyfeszültségű transzformátor, 5: Feszültségmérő szonda 6: Árammérő szonda, 7: Oszcilloszkóp, 8: Gázanalizátor

[2] Berta, I.–Tóth, L.–Szedenik, N. (1986): Pulse Charging System Precipitation PORANAL, Balatonfüred, pp. 585–600.

[3] Luigi Civitano (1993): *Industrial Application of Pulsed Corona Processing to Flue Gas NATO ASI Series, Vol. G. Part B*, Berlin–Heidelberg: Springer.

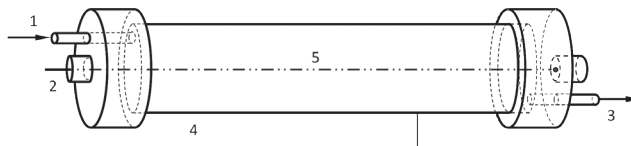
[4] Kiss, E.–Nifuku, M.–Sato, M.–Horváth, M.–Jenei, I.–Hajós, G.–Brendel, M.: Removal of NO<sub>x</sub> from Flue and Exhaust Gases Using Nonthermal Plasma Technology 6<sup>th</sup> International Conference on Electrostatic Precipitation. Budapest, 18–21 June, 1996. Proceeding. pp. 574–579

[5] Masuda S.–Wu Y. (1987): Removal of NO<sub>x</sub> by corona discharge induced by sharp rising nanosecond pulse voltage; *Electrostatics '87, Proceedings of the International Conference on Electrostatics*, April 1987.

A gázbontás-kísérletek során használt reaktor egy 6 cm belső átmérőjű, 1,2 m hosszú hengeres típusú reaktor, melynek tengelyében kifizetett 0.24 mm átmérőjű wolfram huzal volt a szóróelektrod.

A feszültség hullámok a szóróelektrodra az elektrodot koncentrikusan körülvevő fémhenger földpotenciálra voltak kapcsolva (2. ábra).

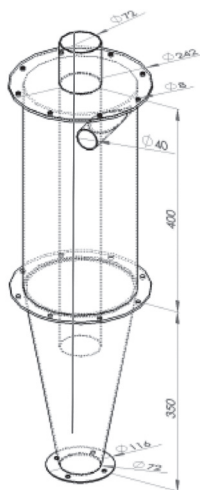
2. ábra. A kísérleteknél használt hengeres típusú reaktor



1: Gázbevezetés, 2: Nagyfeszültségű impulzusok csatlakozása, 3: Gázkivezetés, 4: Földelektrod, 5: Szóróelektrod

A füstgázok por- és szennyezőgáz-tartalmának egyidejű leválasztására végzett kísérleteknél egy 400 mm hosszú 242 mm átmérőjű ciklont használtunk, aminek a tengelyében helyeztük el a szóróelektrodát. Az elektrodára kapcsolt nagyfeszültségű impulzusok emelték a porleválasztás hatásfokát és a szennyező gázok egy részét is lebontották. A ciklont a 3. ábrán látjuk.

3. ábra. A por és gáz egyidejű leválasztásához használt ciklon



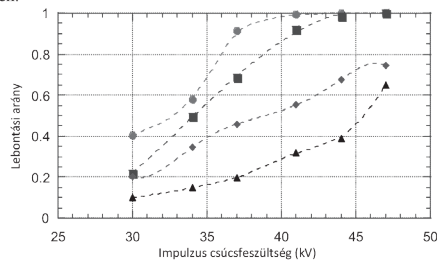


## Eredmények

### GÁZBONTÁS

A gázbontásra irányuló kísérleteket kén-dioxiddal, nitrogén-oxiddal és aromás szénhidrogénekkel végeztük. Kén-dioxid esetében a lebontási arány erősen függ mind a kezdeti koncentrációtól, mind a feszültségimpulzusok csúcsértékétől (4. ábra). A mérések szerint a bontási arány az impulzusok csúcsértékének növekedésével nő, a koncentráció növekedésével pedig csökken.

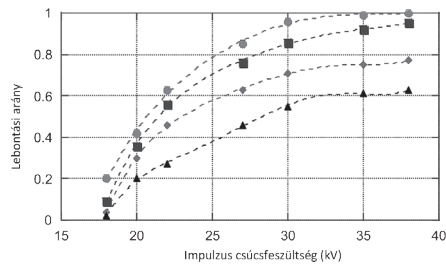
4. ábra.  $SO_2$  lebontási aránya az impulzus-csúcsfeszültség függvényében különböző kezdeti koncentrációk esetén



Polaritás: negatív, ●:150 ppm, ■:233 ppm, ◆:420 ppm, ▲:815 ppm

Hasonló függést figyelhetünk meg pozitív impulzusok alkalmazásánál, azzal a különbséggel, hogy a pozitív impulzusok szembetűnően nagyobb arányban bontják le a kén-dioxid molekulákat (5. ábra).

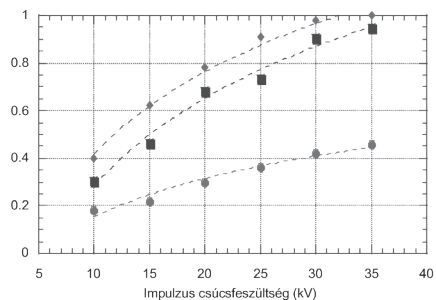
5. ábra.  $SO_2$  lebontási aránya az impulzus-csúcsfeszültség függvényében különböző kezdeti koncentrációk esetén



Polaritás: pozitív, ●: 150 ppm, ■: 390 ppm, ◆: 515 ppm, ▲: 810 ppm

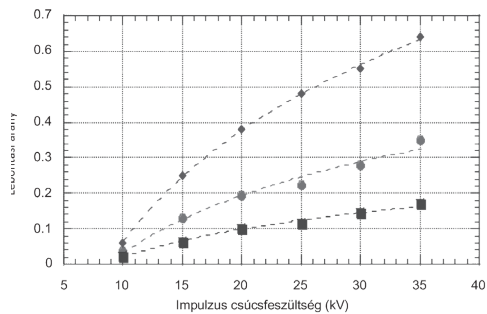
A nitrogén-oxid bontását vizsgálva azt tapasztaltuk, hogy a bontási arány a kén-dioxidhoz hasonlóan a feszültség hullám csúcsértékének növekedésével nő, míg a kezdeti koncentráció növekedésével csökken (6., 7. ábra). A pozitív impulzusok a nitrogén-oxidot is nagyobb arányban bontják, mint a negatív impulzusok.

6. ábra. NO lebontása az impulzus-csúcsfeszültség függvényében pozitív impulzusok esetén



Polaritás: pozitív, kezdeti koncentrációk: ♦: 145 ppm, ■: 300 ppm, ●: 525 ppm

7. ábra. NO lebontása az impulzus-csúcsfeszültség függvényében negatív impulzusok esetén

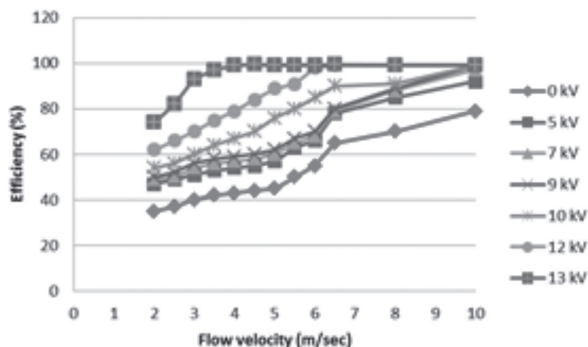


kezdeti koncentrációk: ♦: 145 ppm, ●: 300 ppm, ■: 525 ppm,

GÁZOK ÉS POROK EGYIDEJŰ LEVÁLASZTÁSA ELEKTROSTATIKUS CIKLONNAL

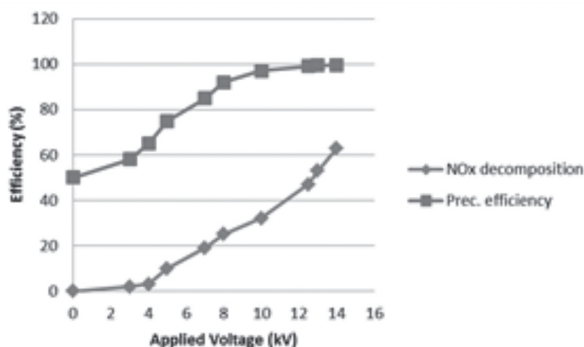
A porlevásztó ciklon tengelyébe elhelyezett elektródára egyenfeszültséget kapcsolva egyrészt nőtt a porlevásztási hatások, másrészt feszültségimpulzusok alkalmazásával lehetővé vált a füstgázok por- és nitrogén-oxid tartalmának egyidejű csökkentése. A vizsgálatokat 8 mm átlagos átmérőjű grafitporral végeztük. A 8. ábrán az elektrosztatikus ciklon porlevásztási arányát látjuk különböző egyenfeszültség értékek alkalmazása mellett, illetve feszültség nélkül. Jól látható, hogy a különböző áramlási intenzitásoknál a feszültség növelésével határozottan javul a levásztás aránya. Ez az arány a villamos impulzusok nélkül a legalacsonyabb.

8. ábra. Elektrosztatikus ciklon porlevásztási aránya az áramlási sebesség függvényében különböző impulzus-feszültségek esetén



Nitrogén-oxid és por együttes levásztása esetén mind a porlevásztás, mind a gázbontás hatásfoka egyértelműen javul az alkalmazott feszültségimpulzusok csúcsértékének növekedésével. 13 kV felett a porlevásztás aránya meghaladja a 99%-ot, a nitrogén-oxid lebontási aránya pedig eléri a 60%-ot. (9. ábra)

9. ábra. Nitrogén-oxid és porleválasztási aránya az impulzus-csúcsfeszültség függvényében



## Konklúzió

Kísérleteink alapján megállapíthatjuk, hogy a vizsgált gázok jól lebonthatók koronaimpulzusok segítségével. A bontási arány és hatások függ:

- Az alkalmazott impulzusok homlokmeredekségétől: a rövidebb felfutású impulzus esetén nagyobb arányban bomlanak le a szennyező gázok.
- Az impulzusok polaritásától: Azonos feltételek mellett legjobb hatásfokot a pozitív impulzusokkal sikerült elérni, negatív impulzusok esetén 50–80%-kal alacsonyabb a hatásfok.
- A feszültségimpulzusok csúcértékétől: a feszültségimpulzusok nagyságával nő a felbontási arány.
- A porleválasztó ciklonok leválasztási hatásfoka 90% fölötti a legtöbb vizsgált porra. A hatásfok nő a vivőgáz sebességével.
- Magas egyenfeszültséget kapcsolva az elektródra, a leválasztási hatásfok tovább emelkedik. A vizsgált 8 mm átlagos átmérőjű grafitpor esetében a leválasztási arány 99% fölötti is lehet, 12 kV feletti egyenfeszültség alkalmazásával.
- Nagyfeszültségű, gyors impulzusok alkalmazásával a NO<sub>x</sub>-koncentráció 60–70%-kal csökkenthető a porleválasztással egyidejűleg.

# *Konverteriszapos talajkeverék ólom- és cinktartalmának csökkentése fitoextrakcióval*

**Összefoglalás:** Kutatásunk fő célja, olyan nagy fitoextrakciós potenciállal rendelkező növényfaj(ok) kiválasztása volt, amelyek által a konverteriszap magas ólom- és cinkkoncentrációja mérsékelhető. Kísérleteinkhez konverteriszap és virágföld 5–10–15 %-os arányú keverékét, valamint négy teszt növényt: bazsalikomot, mezei tarsókat, szárazbabot és kisvirágú bársonyvirágot használtunk. A minták ólom- és cinktartalmát salétromsavas–hidrogén-peroxidos roncsolást követően ICP–OES–készülékkel mértük meg. A kapott eredmények szerint az iszap/talajkeverékek ólomtartalma átlagosan 35–61%-kal, cinktartalma pedig 32–60%-kal csökkent növényfajtól függően. A növényekben felhalmozódott ólom és cink leginkább (50–80%-ban) a teszt növények gyökérzetében maradt, csak a kisvirágú bársonyvirág tudta ezeket az elemeket nagyobb mértékben (45–48%-ban) a leveleiben is akkumulálni. A bioakkumulációs faktorszámok alapján az ólom akkumulációjában a szárazbab és a bazsalikom, míg a cink felhalmozásában a bársonyvirág volt hatékonyabb. A transzlokációs faktorszámok szerint az ólmot csak a bársonyvirág, míg a cinket a bársonyvirág mellett a bazsalikom is mobilizálni tudta a felsőbb növényi részekbe. **Kulcsszavak:** Konverteriszap, nehézfém, fitoextrakció, akkumuláció, transzlokáció.

**Abstract:** The main objective of our research was to select plant species with high phytoextraction potentials that could reduce the high lead and zinc concentrations in the converter sludge. For our experiments, mixture of converter sludge and potting soil was used in a ratio of 5–10–15% and four test plants: basil, marigold, bean and penny cress. The lead and zinc contents of the samples were measured by ICP–OES after nitric acid–hydrogen peroxide extraction. The results obtained showed that the lead content of the sludge/soil mixtures decreased on average by 35–61 % and the zinc content by 32–60% depending on the plant species.

\* Dunaújvárosi Egyetem,  
Műszaki Intézet  
E-mail: kovacsbe@uniduna.hu

\*\* Dunaújvárosi Egyetem,  
Műszaki Intézet  
E-mail: juhaszildiko@uniduna.hu

[1] Kovács-Bokor Éva (2022): *Iszapok nehézfém-tartalom mobilizációjának monitorozása, a nehézfém-tartalom csökkentése kémiai és biológiai módszerekkel*. Veszprém: Pannon Egyetem, Vegyészmérnöki és Anyagtudományok Doktori Iskola. p. 139.

[2] Perei K.–Pernyeszi T.–Lakatos Gy. (2012): *Bioremediáció*. Szeged: Szegedi Tudományegyetem.

[3] Erdei L. (2015): *Fito(bio)remediáció. A környezet megtisztítása növényekkel*. Szeged: JATE Press.

The lead and zinc accumulated in the plants remained mostly (50–80%) in the root system of the test plants, only the marigold was able to accumulate these elements in its leaves to a higher extent (45–48%). Based on bioaccumulation factor ratios, dry bean and basil were more efficient in accumulating lead, while marigold was more efficient in accumulating zinc. According to the translocation factor ratios, lead could only be mobilized by marigold, whereas zinc could be mobilized by basil in addition to marigold. **Keywords:** Converter sludge, heavy metal, phytoextraction, accumulation, translocation.

## Bevezetés

A jelenleg alkalmazott ipari eljárások során többféle ipari iszap keletkezik (pl. vörösiszap, konverteriszap, galvániszap stb.), amely egy-egy gyártási folyamat melléktermékeként jön létre. Az ipari iszapokban a toxikus összetevők mellett számos, akár a növények fejlődésére serkentő hatást gyakorló, ún. esszenciális összetevőt (pl. cink, réz) is tartalmazhatnak. Ezek mellett számos olyan elemet is találhatunk bennük, amelyek kivonása esetén alapanyagként az ipari technológiában újra felhasználhatóvá válna, így ezen komponensek (ritkaföldfémek) visszanyerése jelentős profitot is termelhet. [1]

A folyóvízi iszapok, vagy talajok szennyezettségének csökkentésére napjainkban többféle (bio)remediációs módszer ismert. A *remediálás* szó egy terület megjavítását, meggyógyítását, jelenti, a latin *remedium* = gyógyszer, orvosság, orvoslás kifejezés alapján. A remediáció az a tevékenység, amikor a talajt vagy az iszapokban található szennyező anyagok mennyiségét határérték alá csökkentjük. [1], [2]

Ez egy elég innovatív, újszerű technológiai megoldásnak számít napjainkban. Ha egy területen a szennyezés diffúz, vagy a kiterjedése nagy, akkor alkalmazzák inkább a bioremediációt a költségesebb kémiai és fizikai módszerekkel szemben. A bioremediációnak két fajtája ismert. Az egyik, amikor a talajban lévő, vagy oda bejuttatott mikroorganizmusokat alkalmazzák a szennyezők megkötésére, eltávolítására. A másiknál a nagy, hatékony potenciállal rendelkező növényfajok/fajták fitoremediációs képességét használják fel. [2], [3]

A fitoremediációs módszerek előnye, hogy környezetbarát, és nagy területen alkalmazhatók; a talaj biológiai aktivitása, termékenysége fennmarad általa; nem terheljük a környezetet veszélyes anyagokkal (pl. oldószerek); kisebb költségeket jelent más remedálási módszerekhez képest; továbbá az eljárás végén a növényi anyag elégetése után visszamaradt hamuból egyes szennyező anyagok (pl. nikkel) visszanyerhetők. Hátrányai, hogy eléggé időigényes folyamat, továbbá a növények nem vesznek fel, vagy nem bontanak le egyes összetevőket. Emellett az eljárás során a növényeket gondozni kell (tápanyagokkal, vízzel el kell őket látni) [2], [3], [4], [5], [6], [7].

A fitoremediáció történhet folyamatos fitoextrakcióval, amely során olyan hiperakkumulátor növényfajtákat telepítenek a szennyezett területre, amelyek növekedésük során folyamatosan kivonják a szennyező anyagokat a talajból, iszaptól. Másik módszere a *fitofiltráció*, amely a talajvízből és a szennyezett szennyvízből származó szennyeződések eltávolítására szolgáló technika [4]. *Rizofiltráció* során a fémeket (pl. ólom), és radionuklidokat a szennyezett vízből növényi gyökerek segítségével távolítják el. [4], [7] A *fitovolatilizáció* jelentése: *fito* = növény, *volatilizáció* = illékonyá tétel. *Fitoevaporáció*nak is nevezik. A folyamat során a növények illékonyá teszik a talajban, üledékben, vízben lévő szennyező anyagokat (pl. szelént, higanyt, arzént) [4], [6], [7]. A fitostabilizációt fitoszekvesztrálásnak/fitodepozíciónak is nevezik, amely a talajban található szennyező anyagok rögzítését/megkötését jelenti. [1], [4], [6], [7]

Kutatásunk során a rendelkezésünkre álló konverteriszap magas ólom- és cinktartalmát kíséreltük meg csökkenteni fitoextrakciós módszer alkalmazásával. Erre alkalmas növényfajokat kerestünk főként a szakirodalmi ajánlások alapján. Az elemtartalmakat ICP-OES-készülékkel mértük meg, majd a kapott értékekből a növények bioakkumulációs és transzlokációs képességét határoztuk meg.

[4] Simon L. (2004): Fitoremediáció. *Környezetvédelmi Füzetek*. Budapest: BMKE-OMIKK, pp. 1–59.

[5] Anton A.–Dur Gy.–Gruiz K.–Horváth A.–Kádár I.–Kiss E.–Nagy G.–Simon L.–Szabó P. (1999): *Talajszennyeződés, talajtisztítás*. Budapest: Környezet- és Természetvédelmi Szakkönyvtár és Információs Központ.

[6] Singh, H.–Verma, A.–Kumar, M.–Sharma, R.–Gupta, R.–Kaur, M.–Negi, M.–Sharma, S. K. (2017): Phytoremediation: A Green Technology to Clean Up the Sites with Low and Moderate Level of Heavy Metals. *Austin Biochem*, 2., (2.), p. 1012.

[7] Hooda, V. (2007): Phytoremediation of toxic metals from soil and waste water. *Journal of Environmental Biology*, 28., (2.), pp. 367–376.

[8] Márkus R.–Grega O. (2011): *Veszélyes hulladéknak minősülő ipari eredetű porok és más hulladékok veszélyességének megszüntetése, hasznosítási lehetőségeik kidolgozása*. <http://anyagokvilaga.hu/tartalom/2011/1/osszefoglalo.pdf>

## Felhasznált anyagok és módszerek

### 1. Konverteriszap jellemzése

Laboratóriumi kísérleteink során az ISD–Dunaferr Zrt. acélgyártási folyamatában melléktermékként keletkező konverteriszapot használtuk fel. Az ISD–Dunaferr Zrt. iszapjának cinkkoncentrációja 0,67–3,95%, a Pb-tartalom 0,2–0,4% közötti. [8]

A kísérleteket megelőzően a konverteriszap összetételét XRF-módszerrel is meghatároztuk, az elemtartalmat az 1. táblázat tartalmazza.

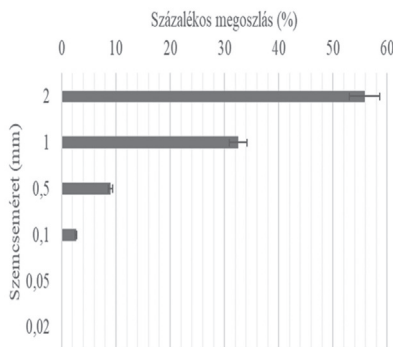
1. táblázat. A konverteriszapban mért elemtartalmak:

Elemek:	Ca	Ti	Mn	Fe	Cu	Zn	Rb	Cd	Sn	Ni	Pb	Cr
Átlag: (ppm)	10 887.25	258.25	9361.25	469 273.8	234	41 475.25	61.67	155	206	0	5235.5	411.5

### 2. Biohumuszos virágföld (bioföld) jellemzői

A biohumuszos virágföld pH-értéke  $6,4 \pm 0,5$  volt, szervesanyag-tartalma min. 70% körüli, nitrogéntartalma 1,0m/m%,  $K_2O$ -tartalma 0,3 m/m%, továbbá a  $P_2O_5$ -mennyisége 0,1 m/m%. A szemcseméret összetételét vizsgálva (1. ábra) 56%-ban a 2 mm feletti frakció volt többségben, 50  $\mu$ m alatti tartományban nem volt mérhető mennyiségű talaj a szitákban. Mész tartalma 3,04 % volt.

1. ábra. A biohumuszos virágföld szemcseméret-eloszlása





### 3. Tesztnövények

A biohumuszos virágföldbe a konverteriszapot 5–10–15% arányban kevertük be. A fitoextrakciós kísérletek elvégzéséhez szakirodalmi ajánlások alapján négy tesztnövényfajt választottunk ki: bazsalikomot (*Ocimum basilicum* L.); mezei tarsókat (*Thlaspi arvense* L.); kisvirágú bársonyvirágot (*Tagetes patula* L.); és szárazbabot (*Phaseolus vulgaris* L. var. *Coco*) (2. a, b ábra, 3. a, b ábra).

2. ábra. (a) mezei tarsóka és (b) bazsalikom



(a)

(b)

Forrás: Saját fotó.

3. ábra. (a) szárazbab és (b) bársonyvirág



(a)

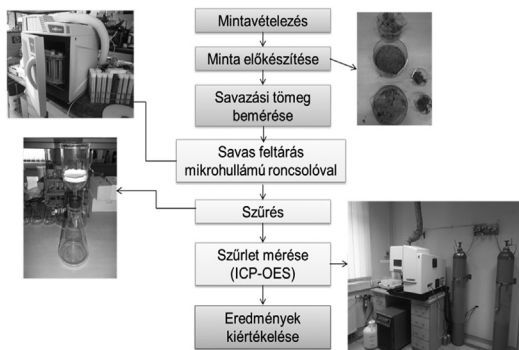
(b)

Forrás: Saját fotó.

#### 4. A talaj/iszap keverékminták feltárásának menete

A talaj/iszapos keverékek elemtartalmát salétromsavas–hidrogén-peroxidos feltárással, ICP–OES–készülék segítségével mértük meg (4. ábra). Ennek első lépéseként a növények vetésekor és a kísérlet végén vett iszapos talajmintákat szárítottuk, majd ledaráltuk. A mintákat ezután CEM MARS 6 típusú mikrohullámú roncsolóval tártuk fel. A szűrletek cink- és ólomtartalmát pedig Perkin Elmer Avio200 típusú ICP–OES–készülékkel mértük meg.

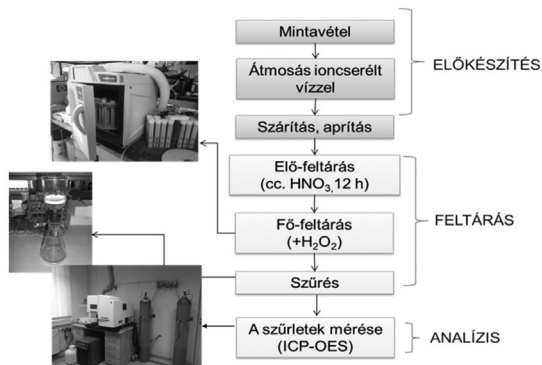
4. ábra. Az iszapos talajminták elemtartalmának lépései



#### 5. A növényminták feltárásának menete

A tesztnövény-minták cink- és ólomtartalmát hasonló módon határoztuk meg, mint az iszap/talajkeverékekét. A szilárd, növényi minták feltárásához szintén salétromsavas–hidrogén-peroxidos módszert választottunk ki. A növénymintákat szárítás és aprítás után előkezeltük, 12 órán keresztül salétromsavban hagytuk őket. Ezután a mintákat CEM MARS 6 típusú mikrohullámú roncsolóval tártuk fel, s szűrés után a kapott oldatok elemtartalmát Perkin Elmer Avio200 típusú ICP–OES–készülékkel határoztuk meg (5. ábra).

5. ábra. A növényminták elemtartalmának mérése



## 6. Növények fitoextrakciós potenciáljának factorszámításai

a.) BAF= Bioakkumulációs faktor

BAF: a növény hajtásában (szár+levél) és az üledékben található nehézfém tartalom aránya. [9] [10]

$$BAF = C_{\text{hajtás}} / C_{\text{üledék}}$$

Ahol:

–  $C_{\text{hajtás}}$  = növény szárában, levelében található elemkoncentráció (mg/kg)

–  $C_{\text{üledék}}$  = ültetőközegben (iszap+talaj) mért elemkoncentráció (mg/kg)

b. TF=Transzlokációs faktor

TF: a növény föld feletti hajtásában (szár+levél) és a növény gyökerében mért nehézfém-koncentráció aránya. [9] [10]

$$TF = C_{\text{hajtás}} / C_{\text{gyökér}}$$

Ahol:

–  $C_{\text{hajtás}}$  = növény szárában, levelében található elemkoncentráció (mg/kg)

–  $C_{\text{gyökér}}$  = a növény gyökerzetében mért elemkoncentráció (mg/kg)

[9] Lago-Vila, M.–Arenas-Lago, D.–Rodríguez-Seijo, A.–Andrade Couce, M. L.–Vega, F. A. (2015): Cobalt, chromium and nickel contents in soils and plants from a serpentinite quarry. *Solid Earth*, 6., (1.), pp. 323–335.

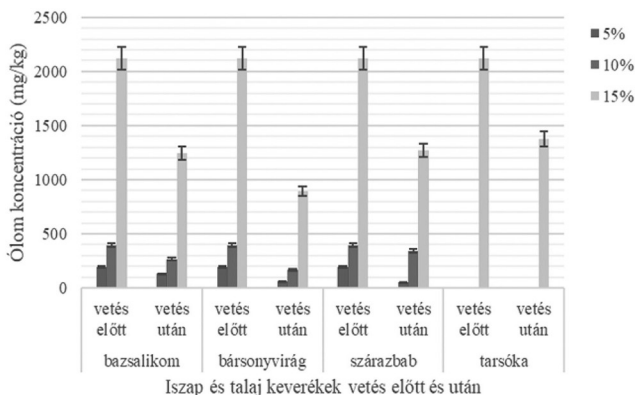
[10] Mehr, M. R.–Keshavarzi, B.–Moore, F.–Hooda, P. S.–Busquets, R.–Ghorbani, Z. (2020): Arsenic in the rock–soil–plant system and related health risk in a magmatic–metamorphic belt. *Environmental Geochemistry Health*, 42., (11.), pp. 3659–3673.

## Eredmények

### 1. Talaj/iszapminták ólomtartalmának változása

Az eredmények alapján megállapítható, hogy a keverékek ólomtartalma minden növénynél csökkent az ültetés hatására. Az átlagos ólomcsökkenés aránya bazsalikom esetén 35%, bársonyvirág esetén 61%, szárazbab esetén 42%, tarsóka esetén: 35% volt (6. ábra).

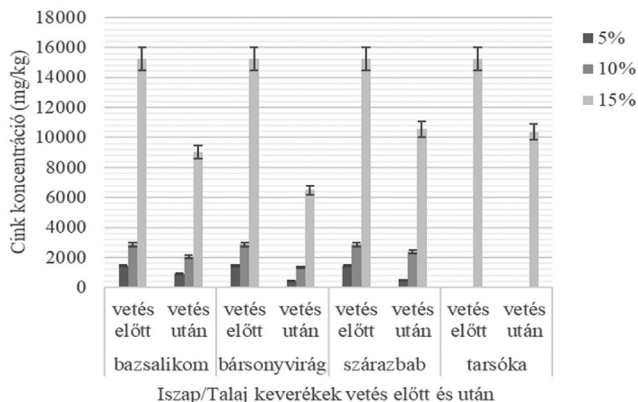
6. ábra. Az iszapos talajkeverékek ólomtartalmának változása



### 2. Talaj/iszapminták cinktartalom-változása

Az ültetető közegek cinktartalmát vizsgálva elmondható, hogy szintén csökkent a koncentráció a kísérlet végére. A cink átlagos csökkenési aránya bazsalikom esetén 36%, bársonyvirágnál 60%, szárazbab esetén 37%, tarsóka esetén 32% volt (7. ábra).

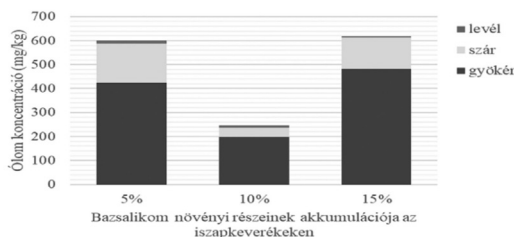
7. ábra. Az iszapos talajkeverékek cinktartalmának változása



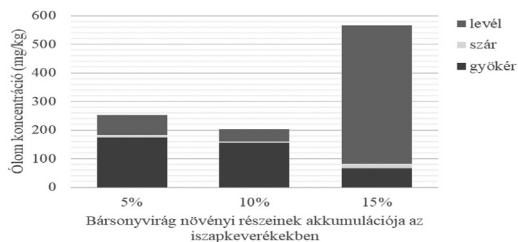
### 3. A teszt növények részeinek ólomtartalma

Az eredmények alapján elmondható, hogy bazsalikom esetén volt a legtöbb ólom (átlagosan 76%) a gyökérben, legkisebb arányban pedig a levelekben (átlagosan 2%) halmozódott fel. A bársonyvirágnál már nagyobb mértékben halmozódott fel ez az elem a levelekben. Míg a gyökérzetben átlagosan a növényben mérhető összes ólom 52%-a, addig a levelekben 44%-a akkumulálódott. A szárazbabban detektált ólom-mennyiségek szerint jól látható, hogy ez az elem inkább a gyökerekben (83%), mint a levelekben (4-6%) raktározódott. A tarsókában ez az elem inkább a gyökérzetben maradt (8-11. ábra).

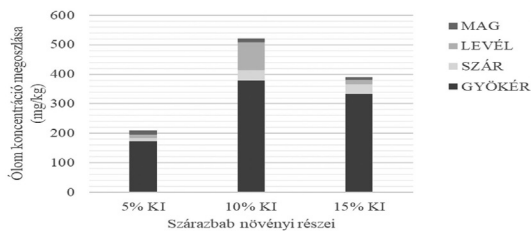
8. ábra. A bazsalikom növényi részeinek ólomtartalma



9. ábra. A bársonyvirág növényi részeinek ólomtartalma



10. ábra. A szárazbab növényi részeinek ólomtartalma



11. ábra. A tarsóka növényi részeinek ólomtartalma

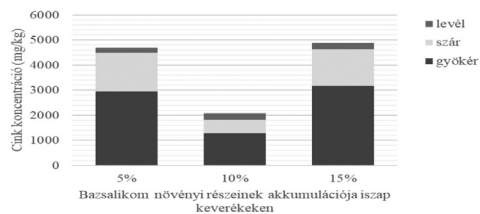


#### 4. A teszt növények részeinek cinktartalma

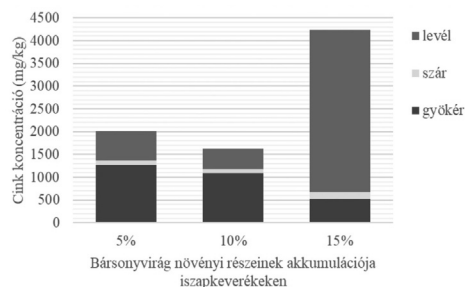
A bazsalikomnál mérhető összes cinkmennyiséghez viszonyítva a gyökerekben a cink 63%-a volt jelen, míg a levelekben csupán 7%-a. A bársonyvirág esetén a cink könnyebben épült be a levelekbe. A cink a gyökerekben átlagosan 47%, a levelekben pedig 48% volt jelen. A legnagyobb cinkkoncentrációt 15%-os iszapjelenlét mellett mutattuk ki a levelekből (84%). A szárazbab esetén a cink átlagosan 72%-ban csak a gyökérzetben maradt. 10%-os bekeverési aránynál mértük a legmagasabb cinktartalmat a növényben.

A levelekben nagyobb arányban volt jelen (23%), mint a többi keverék esetén (6–7%). A tarsóka ezt az elemet már nagyobb százalékban tudta a szárában és a leveleiben akkumulálni (12–15. ábra).

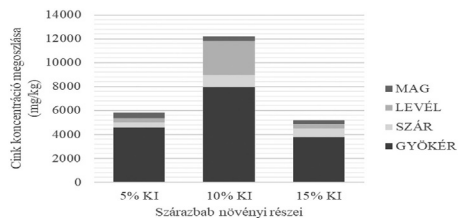
12. ábra. A bazsalikom növényi részeinek cinktartalma



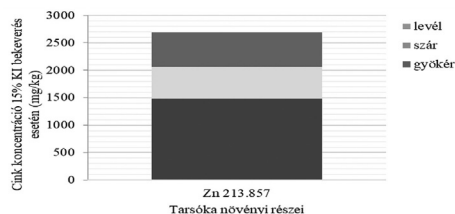
13. ábra. A bársonyvirág növényi részeinek cinktartalma



14. ábra. A szárazbab növényi részeinek cinktartalma



15. ábra. A tarsóka növényi részeinek cinktartalma



### 5. Faktorszámítások

A BAF-értékek szerint ólmot és a cinket is leginkább a bazsalikom és a bársonyvirág tudta akkumulálni a keverékekből. A transzlokációs faktorszámokat áttekintve megállapítható, hogy az ólmot inkább a bársonyvirág, míg a cinket a bársonyvirág mellett a tarsóka is mobilizálni tudta a felsőbb növényi részekbe (2. táblázat).

2. táblázat. A bioakkumulációs és transzlokációs faktorértékek

	bazsalikom			bársonyvirág			szárazbab			tarsóka
	5%	10%	15%	5%	10%	15%	5%	10%	15%	15%
<b>Pb</b>										
<b>BAF</b>	0,99	0,93	0,5	0,41	0,3	0,63	1,74	0,28	0,08	0,04
<b>TF</b>	0,42	0,25	0,28	0,46	0,30	7,43	0,13	0,34	0,15	0,33
<b>Zn</b>	bazsalikom			bársonyvirág			szárazbab			tarsóka
	5%	10%	15%	5%	10%	15%	5%	10%	15%	15%
<b>BAF</b>	1,25	1,00	0,54	46,22	0,30	0,65	0,18	0,04	0,01	0,12
<b>TF</b>	0,59	0,62	0,55	0,59	0,50	7,08	0,17	0,48	0,29	0,82

## Összegzés

Az iszap/talajkeverékek eredményei alapján megállapítottuk, hogy a keverékek cink- és ólomtartalma növények segítségével csökkenthető. Az iszap és talajkeverékek átlagos ólom- és cinktartalom-csökkenése a bársonyvirágnál elérte a 60%-ot. A növények fitoextrakciós-potenciál sorrendje a talaj/iszapkeverékek Pb- és Zn-tartalmának csökkenése alapján:

bársonyvirág < szárazbab < bazsalikom(=) tarsóka

A növényi részek elemtartalma szerint a legjobb bioakkumulációs képességgel a bársonyvirág és a bazsalikom rendelkezik. A legjobb transzlokációs képességgel: a bársonyvirág (Pb, Zn), és a tarsóka (Zn) rendelkezik. A négy tesztnövény közül a bársonyvirág alkalmazható leginkább az ilyen jellegű szennyezett talajok, vagy iszapok remedálására.



# *Atomerőmű lehülési folyamatának szimulálása Matlabbal, remanens hő elvonása és energiakinyerés TEG-gel*

**Összefoglalás:** Az elmúlt években bebizonyosodott, hogy nagyon nagy szükség van a magas biztonsági szintű rendszerekhez újabb biztonsági lépcsők beiktatására. Ilyen összetett rendszer az atomerőmű is. De mielőtt a biztonság növelését céloznánk meg, ismernünk kell azt a jelenséget, mely a nem várt esemény bekövetkezésekor a problémát okozza. Ehhez szükségünk van egy jól összeállított szimulációra. Az atomerőművek üzemmenetének jelentős kérdését képezi a láncreakció leállítását követő, szubkritikus reaktorállapot melletti, ún. remanens hőelvonás biztosítása. Ennek hiánya súlyos üzemzavarhoz is vezethet (Fukushima 2011). Ezen hőmennyiség elvezetéséhez szükséges villamos energiát normál esetben biztosítják az elsődleges (országos hálózat, házi üzemi rendszerek) és másodlagos (dízel generátor) energiaellátó rendszerek. Az üzembiztonság növelésének egyik fontos területe lehet a remanens hőelvonás harmadik, diverz módjának kialakítása. Megfigyelésünk és az abból keletkező megoldások a magyarországi paksi atomerőmű VVER 440-es reaktorblokkjai alapján született, de természetesen bármely hasonló működésű atomerőmű-típusra továbbvihető.

**Kulcsszavak:** Thermopile, TEG-modul, termoelektromos generátor, atomerőmű.

**Abstract:** In recent years, it has been proven that there is a great need to install new security steps in the event of additional, unexpected events in high-security systems. The nuclear power plant is such a complex system. But before we aim to increase security, we need to know the phenomenon that causes the problem when the unexpected event occurs. For this we need a well-constructed simulation. A significant issue in the operation of nuclear power plants is the so-called ensuring residual heat removal. The absence of this can also lead to serious malfunctions (Fukushima 2011). The electricity required to remove this amount of heat is normally provided by the primary

\* Dunaiújvárosi Egyetem,  
Szabadkai Műszaki Főiskola  
E-mail: farkasi@uniduna.hu

\*\* Dunaiújvárosi Egyetem, Sza-  
badkai Műszaki Főiskola  
E-mail: odry@appl-dsp.com

(national grid, domestic systems) and secondary (diesel generator) energy supply systems. One of the important areas of increasing operational safety can be the development of a third, diverse method of removing residual heat. Our observation and the resulting solutions were based on the VVER 440 reactor blocks of the Paks nuclear power plant in Hungary, but can of course be applied to any type of nuclear power plant with similar operation.

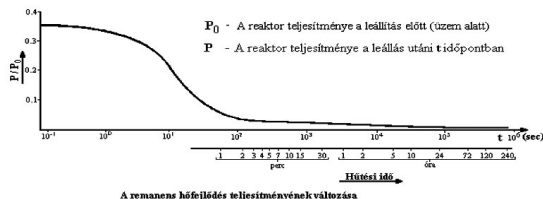
**Keywords:** Thermopile, TEG module, thermoelectric generator, Nuclear Power Plant.

## I. Atomerőmű lehűtésének alapjai

A leállási bórkoncentráció elérése után a blokkot le kell hűteni, majd az elért hőfokon kell tartani. A lehűtés során egyrészt a szerkezeti anyagokban tárolt hőt, másrészt az aktív zóna által termelt remanens hőt kell elvonni.

A művelet első szakaszában a térfogatkompenzátor lehűtésével be kell állítani a lehűtés üzemmódban előírt primerkör-térfogatkompenzátor között megengedett  $60^{\circ}\text{C}$  hőmérséklet-különbséget. Ez természetesen azt is jelenti, hogy egyúttal a primerköri nyomást is csökkentjük. A későbbiek során a primerkör lehűtése mellett is ezt a különbséget folyamatosan tartani kell.

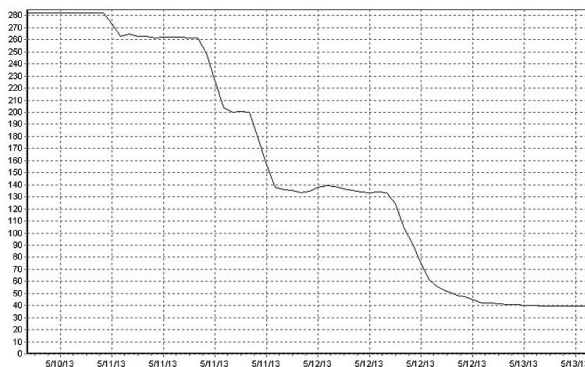
1. ábra. A remanens hőfejlődés teljesítményének változása



A primerköri nyomás folyamatos csökkentése miatt a hidroakkumulátorokat a  $p_1 < 75$  bar elérésekor a primerkörről le kell választani, sőt mivel közben a primerkört hűtjük is, nyomásukat is el kell engedni a nitrogén lefúvatásával (elkerülendő a ridegtörés esetleges veszélyét). Ha elérjük a primerköri nyomás csökkentése során a  $p_1 \leq 20$  bart a térfogatkompenzátorban a gőzpárnát nitrogénre kell cserélni. A beadandó nitrogén mennyiségének minimalizálása miatt a térfogatkompenzátort a lehetséges maximum szintig ( $L_{YP10} = 7.5 \pm 0.5\text{m}$ ) fel kell tölteni a nitrogén beadása előtt. A továbbiakban különösen szem előtt kell tartani a térfogatkompenzátor-szint pontos tartását, mert annak változása erősen befolyásolja a primerköri nyomást.

(A primerkör folyamatos lehűtése miatt az állandó szinttartás a térfogatkompenzátorban csak úgy lehetséges, ha a térfogatcsökkenést pótvízbeadással folyamatosan pótoljuk, eltérően a teljesítményüzemtől, amikor az átlaghőmérséklet függvényében a szintet engedjük változni, azaz a primerkörben állandó víztömeget tartunk.) A primerkör és a térfogatkompenzátor közötti  $\Delta T=60^{\circ}\text{C}$ -t a  $T_1 \leq 150^{\circ}\text{C}$  eléréséig tartani kell, majd ott  $\Delta T = 30^{\circ}\text{C}$ -ra kell csökkenteni.

2. ábra. A lehűtés diagramja egy normál lehűtés esetében



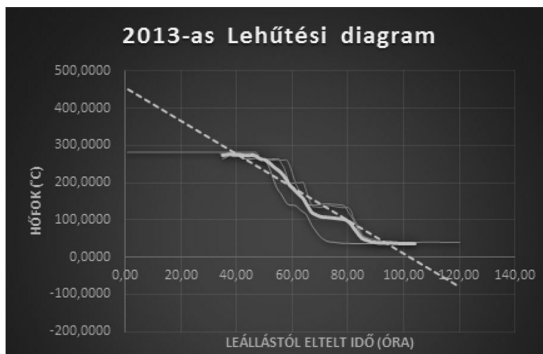
A kezdeti szakaszban, amíg a turbinák kondenzátoraiban a vákuum tartása biztosítható, a kondenzátorba redukálók benyitásával kell a lehűtést végezni. Mivel e művelet során elérjük a főgőzkollektor-törésvédelem működési értékét, a védelmet időben bénítani kell a BER-panel kulcsos kapcsolójával.

A szekunderkör normál technológiai kapcsolása mellett a primerkör lehűtése elkezdhető. A továbbiakban természetesen üzembe kell venni a technológiai kondenzátorokat és a lehűtő-redukálók segítségével be kell állítani a megengedett  $30^{\circ}\text{C}/\text{h}$  lehűtési sebességet. A lehűtési sebesség beállítása során figyelni kell arra, hogy a megengedettnél ne lépünk túl, ezért azt alulról kell megközelíteni. Nagy táptartály és primerköri hőmérséklet-különbségeknél a túllépés könnyen előfordulhat. A lehűtést gőz elvételével a frissgőzkollektorból  $T_1 = 140^{\circ}\text{C}$ -ig kell folytatni. A technológiai kondenzátorban lecsapódott kondenzátumot a szekunderköri táptartályba vezetjük vissza. A gőz-vizes lehűtés utolsó harmadában a táptartályok fűtését folyamatosan csökkenteni kell, hogy prime-szekunderkör közötti hőfoklépcső biztosítható legyen.

Még  $T_1 > 190^{\circ}\text{C}$  felett, elkerülendő a túlzottan magas aktív zóna, a nyomáskülönbséget le kell állítani. A primerköri vezetékek egyenletes lehűtése miatt a leállított FKSZ-t el kell indítani ( $T_1 = 175$  és  $160^{\circ}\text{C}$ -nál) miután leállítottunk egy üzemelőt.

$T_1 < 150^\circ\text{C}$  elérése után a lehűtés sebessége már erősen lecsökken, mert a beadott tápvíz és a primerkör közötti  $\Delta T$  már igen alacsony. A stabil  $150^\circ\text{C}$  alatti érték elérése után a rendszert gőz–vizes lehűtésről víz–vizes lehűtésre kell átállítani. Ehhez a GF-eket, a frissgőzvezetéseket, a frissgőzkollektorokat, és a lehűtőrendszert teljesen fel kell tölteni tápvízzel. A töltés elkezdése előtt elkerülendő a szándékolatlan védelmi működéseket a BER-panelen bénítani kell a GF-védelmeket, hiszen az  $LGF > L_{\text{Névleges}} + 600$  mm kizárja a feltöltési útvonalat. A feltöltés sebességét úgy kell beállítani, hogy a feltöltés ideje minimum 3.5 óra legyen. A lehűtésnek ebben a szakaszában kell ellenőrizni a Lépcsőzetes Indítási Programok áttérését is, a LIP II-programra. A programátállítás egyben azt is jelenti, hogy a ZÜHR-rendszerek egyes elemeire a továbbiakban már nincs szükség, sőt esetleges működésbe lépésük káros következményekkel is járhat, ezért ezeket ki kell szakaszolni.

3. ábra. Lehűtésdiagramok egy rektorblokkra nézve és annak trendje

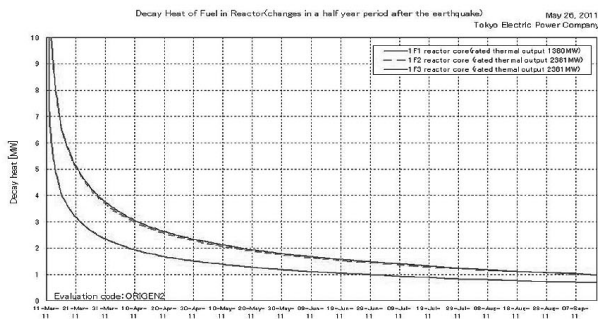


(Pl. nyomás alatt lévő, még zárt, de lehűtött reaktortartály esetén, ha a TH-s szivattyúk elindulnak, akár téves jelre is, pillanatok alatt túlléphetjük a ridegtörési hőmérséklethez tartozó engedélyezett nyomást, vagy elindul a sprinkler-rendszer téves jelre, hiszen ezen a primerköri hőmérsékleten már nem valószínű, hogy akár csőtörés esetén is a hermetikus tér nyomása elérje a határértéket.) Mivel a hőelvitel mennyisége a feltöltés alatt folyamatosan csökken, gondosan ügyelni kell arra, hogy ezalatt a primerkör ne melegedhessen vissza  $150^\circ\text{C}$  fölé.

A szekunder oldal feltöltése után a lehűtést tovább kell folytatni víz–vizes üzemmódban öt FKSZ üzemeltetésével  $TI < 100^\circ\text{C}$  eléréséig. A szekunderoldali cirkulációt a lehűtő szivattyúk biztosítják. Ha a primerköri átlaghőmérséklet  $100^\circ\text{C}$  alatt van, a természetes cirkulációban majdan résztvevő két hurok kivételével az FKSZ-eket le kell állítani. Az üzemből kivett hurokhoz tartozó gőzfejlesztőket szekunder oldalról nem kell kizárni, biztosítva az intenzívebb lehűlésüket.

Leválasztásuk TGF-fal  $\leq 40^\circ\text{C}$  elérésekor, de legkésőbb a reaktor nyomásmentesítése előtt történik. Ha a térfogatkompenzátor és a beadott pótvíz hőmérséklete közötti  $\Delta T < 80^\circ\text{C}$  a térfogatkompenzátor lehűtését a továbbiakban a pótvízszivattyúk felől kell végezni.

4. ábra. Remanens hő teljesítménye 6 hónapos időintervallumban a fukushimai erőműben



## II. A lehűtés szimulációja

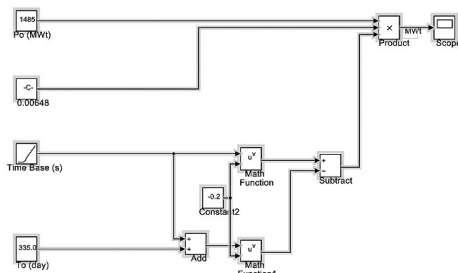
A feladat elemzéséhez első lépcsőben vizsgáljuk meg, mekkora ez az energia. A remanens hő (decay heat) becsléshez használt, numerikus módszert alkalmazó kódok (Melcor, Relap 1–2–3, Trac, Origen) 3–5% pontossággal képesek modellezni az állapotot.

### REMANANS HŐ SZIMULÁCIÓJA

A Matlab R2013a szintén numerikus módszerével szimulálva (5. ábra), egy  $T_0 = 335$  napig folyamatosan üzemelő,  $P_0 = 1485$  MWt („Megawatt thermal”) hőenergiát termelő reaktor remanens hője a leállítást követő tíz napban (864000s) a 6. ábra szerinti. Látható, hogy ez az érték tíz nap elteltével is több, mint 3MWt.

[1] Ragheb, M. (2011):  
*Decay heat generation  
in fission reactors.*

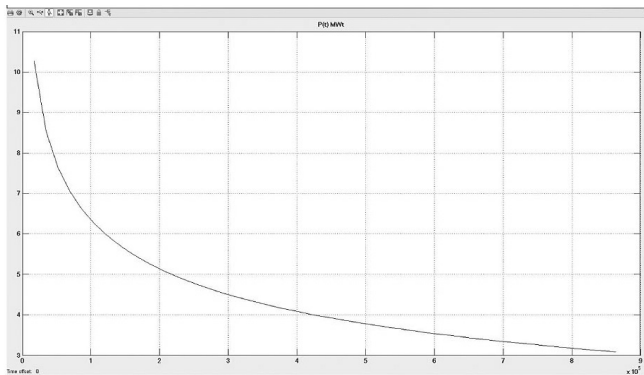
5. ábra. Remanens hő szimulációja



Az alkalmazott algoritmus [1]:

$$P(t) = 6.48 \times 10^{-3} P_0 [t^{-0.2} - (t+T_0)^{-0.2}] \text{ [MWt]} \quad (1)$$

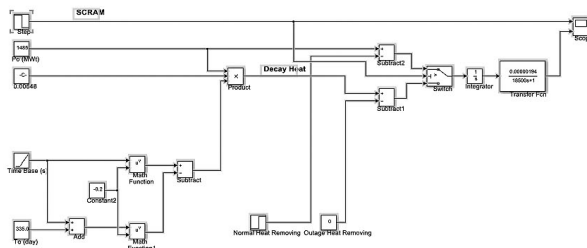
6. ábra. A szimulált remanens hő teljesítménye



A VÉSZLEÁLLÍTÓ ÉS A LEÁLLÁS UTÁN A RENDSZERBEN LÉVŐ  
HŐMENNYISÉGGEL VALÓ KIEGÉSZÍTÉS

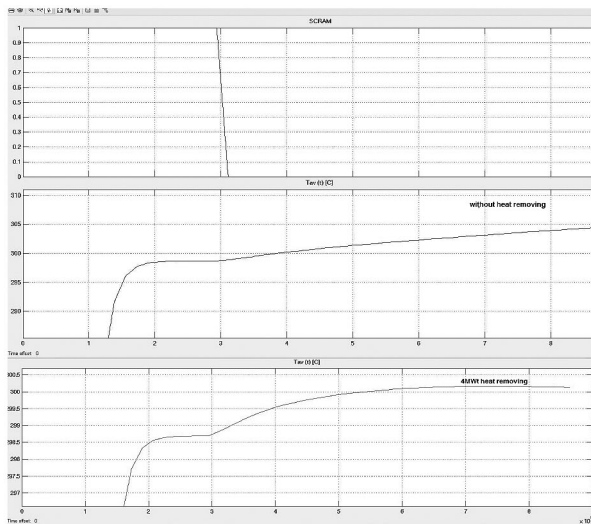
A továbbiakban a SCRAM-jellel (vészeállítás) leállított reaktor és a hozzá kapcsolódó fémszerkezetek együttes átviteli függvényét gerjesztettük az aktuális hőteljesítmény jellel (7. ábra).

7. ábra. A bővített modell



Az átviteli függvény arányos egytárolós tagként ( $PT_1$ ), a víz- és fémtömegek eredőjeként került meghatározásra, figyelembe véve a reaktortartály, üzemenyag, fővízköri vezetékek, primerköri hőhordozó tömegeit és fajhő értékeit. Kényszerkeringetést, járulékos hőelvonást nem felhasználva az igen nagy hőtároló képességgel rendelkező tagunk kimeneti függvénye átlaghőmérsékletben skálázva tíz nap elteltével is monoton növekvő jelet mutat. Folyamatosan rendelkezésre álló (állandó) leállási hőelvonó rendszert, illetve megtáplálást feltételezve, mintegy 4MWt hőelvonás a fenti trendet a hetedik napon fordítja meg, 300°C hőmérsékletnél (8. ábra, harmadik diagram).

8. ábra.

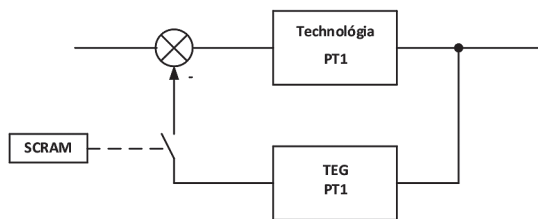


Meg kell jegyezni, kisebb érték is képes megfordítani a trendet, azaz lehűlést előidézni, mert a bomláshő-függvényünk is monoton csökken, a kérdés mikor, és meddig engedi felkúszni az átlaghőmérsékletet. Esetünkben – üzemelő rendszerek esetén – 305°C és 310°C értékeknél védelmi jelek képződnek, álló blokk esetén sem célszerű ennél nagyobb értéket megengedni. Kézenfekvő a kérdés, hogy a hatalmas, fém- és víztömegben eltárolt energiát közvetlenül hőelektromos átalakítóval (TEG) elektromos energiává alakítva, használjuk fel a remanens hőelvonás megtáplálására, mint „harmadik típusú”, diverzelve megtáplálást. Az egyébként hőszigeteléssel borított főberendezések TEG-gel történő befedése esetén a jellemző hőmérsékleteket figyelembe véve, valamint a helyiségek szellőzését (különösen a box) továbbra is feltételezve – erre a TEG hidegoldali hőelvonása miatt van szükség – mintegy 2.5–3.0 MW villamos energia állítható elő, a TEG-ek jelenlegi hatásfokával számolva.

#### TEG BEÁLLÍTÁSA, MINT REMANENS HŐELVONÓ BEÉPÍTÉSE

Az így létrehozott rendszer, termikus szempontból negatívan visszacsatolt rendszer, ami biztonsági garancia (9. ábra) a hőmegfutás elleni védelemre. A visszacsatoló ágba lévő termoelektromos generátor szintén PT1 tagként modellezhető, azonban időállandója jóval kisebb, mint az előreccsatoló hurok, a technológia időállandója.

9. ábra. A szimulálandó hőelvonó rendszer



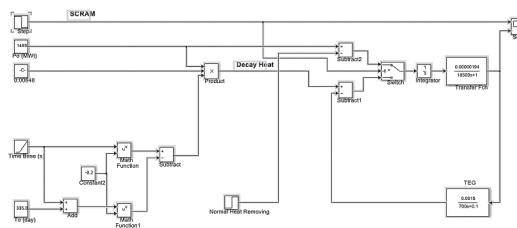
Az így elkészített Matlab-modell a 10. ábrán látható, míg a lehűtési görbéket a 11. ábra szemlélteti. Az a „minimum” függvény, ami a hőmérséklet növekedését nem engedi, 300°C fölé legalább

$$Y = \frac{0.0015}{700S+0.1}$$

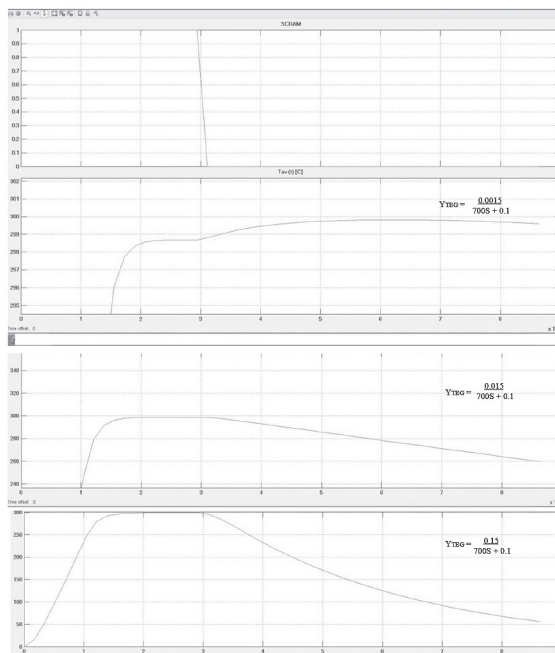
átviteli függvény kell, hogy legyen. Az időállandó növelése nem befolyásolja a görbe alakját, a TEG-ből kinyerhető villamos energia időbeni rendelkezésre állását határozza meg, míg az arányos átviteli összetevő a lehűtés meredekségére hat.



10. ábra. A szimuláció TEG-hőelvonó beépítésével

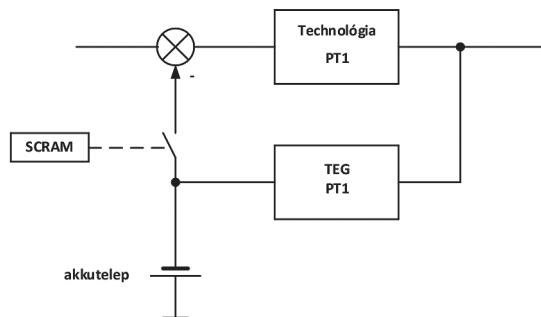


11. ábra. A szimuláció eredménye TEG-hőelvonó beépítésével



A tárolókapacitás növelése megoldható a TEG által előállított villamos energia akkumulátortelepben történő tárolásával (12. ábra).

12. ábra. Akkutelep beépítése a rendszerbe



A kampány során a megtermelt hő folyamatosan „ott van”, a SCRAM utáni időszakban egy ideig úgy-szintén, tárolt hő formájában, így a remanens hőelvonás kritikus 2–3 napjában a töltő- (kondicionáló) áram többszöröse kivethető az akkutelepből a keringetés fenntartásához. Valamennyi erőmű rendelkezik akku-mulátorral megtámasztott DC-sínnel (220V vagy 24V), így ennek kiépítése nem kerül többletköltségbe.

### III. Atomerőmű vizsgálat a TEG felhasználási területének szemszögéből

A reaktorból kilépő forróvíz felhasználásával csak viszonylag alacsony nyomású (40–60bar) telített gőzt lehet előállítani, így a körfolyamat meglehetősen mérsékelt paraméterű. Ez az oka az atomerőművek relatíve alacsony hatásfokának ( $\eta=30-40\%$ ). Az alábbi táblázat a fontosabb termikus reaktortípusok hőtechnikai jellemzőit tartalmazza:

1. táblázat. Termikus reaktortípusok hőtechnikai jellemzői

Reaktor	PWR	BWR	GGR	AGR	HTGR
Térfogati hőteljesítmény (W/cm <sup>3</sup> )	70-110	40-50	3-5	5-10	10-20
Hatásfok (%)	30-40	30-40	30-40	40-45	40-45

PWR (Pressurized Water Reactor) Nyomottvízes reaktor, BWR (Boiling Water Reactor) Forralóvízes reaktor.

GGR (Gas cooled, Graphite moderated Reactor), Gázhűtésű, grafitmoderátoros reaktor.

AGR (Advanced Gas cooled Reactor), Továbbfejlesztett gázhűtésű reaktorok.

HTGR (High Temperature, Gas cooled Reactor), Magas hőmérsékletű gázhűtésű reaktorok.

A nagy hőteljesítmény, alacsony hatásfok maga után vonja a nagy hőveszteséget. Ez a paraméter kínál lehetőséget a termopile-effektus alkalmazhatóságának vizsgálatára. A termopile cellák atomerőművi alkalmazhatóságának vizsgálata kiterjedhet:

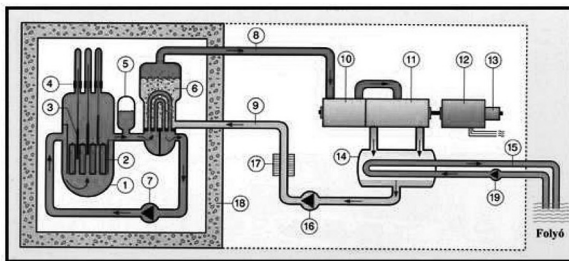
- az egyes erőműtípusok hőveszteségeinek részletes feltárására (tartályok, hőcserélők csővezetékek, forgógépek),
- a kinyerhető elektromos energia számítására, és az ezáltal elérhető hatásfok-növekedés megalapozására,
- az így nyert elektromos energia felhasználhatóságának elemzésére biztonsági rendszeri betáplálásként, növelve ezzel a biztonsági rendszerek rendelkezésre állását.

[2] Atomenergetika: Erőművek felépítése. <http://web.axelero.hu/csfolk/pdfprezentaciok/atomenergetika-eseromuvek.pdf>

### NYOMOTTVIZES (PWR) ATOMERŐMŰ FELÉPÍTÉSE, MŰKÖDÉSI PARAMÉTEREI

Az aktív zónában felszabaduló hő elszállítását a gőzfejlesztőkhöz hat hurok végzi. A 13. ábra egy hurok jellemzőit szemlélteti.

13. ábra. Nyomottvizes (PWR) atomerőmű elvi elrendezése [2]

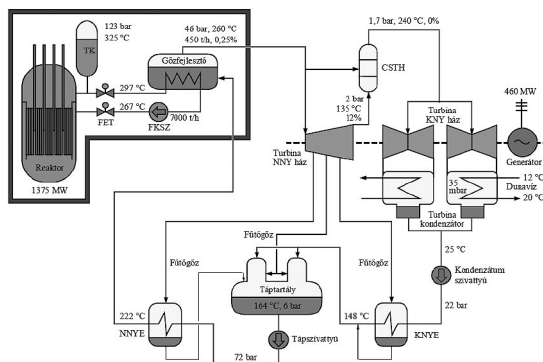


- |                                    |                        |                       |
|------------------------------------|------------------------|-----------------------|
| 1 Reaktortartály                   | 8 Frissgőz             | 14 Kondenzátor        |
| 2 Fűtőelemek                       | 9 Tápvíz               | 15 Hűtővíz            |
| 3 Szabályozórudak                  | 10 Nagynyomású turbina | 16 Tápvíz szivattyú   |
| 4 Szabályozórúd hajtás             | 11 Kisnyomású turbina  | 17 Tápvíz előmelegítő |
| 5 Nyomástartó edény                | 12 Generátor           | 18 Betonvédelem       |
| 6 Gőzfejlesztő                     | 13 Gerjesztőgép        | 19 Hűtővíz szivattyú  |
| 7 Primer köri keringtető szivattyú |                        |                       |

A fővízköri vezetékek Ø500x32 mm-es hőszigetelt saválló acélcsövek. Az egyik hurkon található a nyomástartás (125bar) érdekében kialakított térfogatkompenzátor. A fővízkör teljes térfogata 210m<sup>3</sup>, hurkonként 7000t/h áramlás-mennyiséggel, 267°C belépő, 297°C kilépő vízhőmérséklettel.

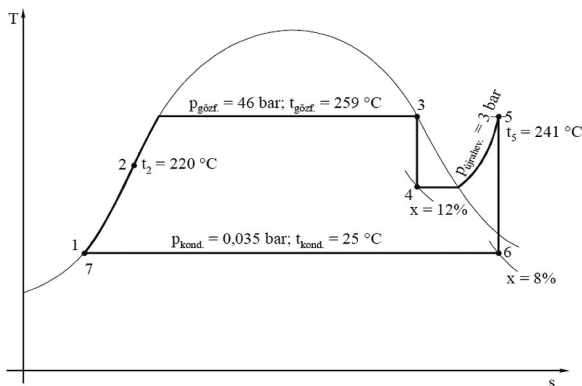
A boksz (a fővízkört magába foglaló épületrész) hőmérséklete  $40^{\circ}\text{C}$ . A szekunder kör csőkapcsolása bonyolultabb: a gőzfejlesztők  $260^{\circ}\text{C}$ -os, 45 bar nyomású telített gőzt állítanak elő, 0.25% víztartalommal.

14. ábra. Főbb technológiai paraméterek egyszerű sémán



A gőzfejlesztőkből kilépő 490t/h tömegáramú gőz mozgási energiáját kihasználva forgatja a turbina tengelyét (3–3 gőzfejlesztő 1–1 turbinát). A víz–gőz körfolyamat T-s diagramját az alábbi ábra szemlélteti.

15. ábra. Rankine-körfolyamat



A korábban említett alacsony hatásfok:

$$\eta = \frac{P_{\text{vill}} - P_{\text{önf}}}{Q_r} = 34\%.$$

Q <sub>r</sub>	reaktor hőteljesítmény	(1375MW)
P <sub>vill</sub>	leadott villamos teljesítmény	(500MW)
P <sub>önf</sub>	reaktorblokk önfogyasztása	(30MW)

Termoelektromos generátor (TEG) elhelyezhetőségét és alkalmazhatóságát célszerű tehát vizsgálni az elvesztett hőteljesítmény minél nagyobb hányadának visszanyerése érdekében. Számításba vehetők mindazon primer- és szekunderköri felületelemek, melyeken az említett hőveszteség (jelenleg szigeteléssel ellátott módon) fellép. A felhasználható (beépíthető) felületek TEG-célú felhasználása értelemszerűen nem ronthatja (nem befolyásolhatja) a rendszer elem eredeti paramétereit, annak funkcióbeli képességeit.

#### TELJESÍTMÉNYVISZONY-SZÜKSÉGLETEK VVER 440 REAKTORBLOKK NORMÁL LEÁLLÍTÁSA ESETÉN

Csak a mérőkörök és a jelfeldolgozók (információt nyújtó rendszerek) üzemzavari megtáplálása, 4–20mA-es köröket feltételezve, néhány 100W teljesítményigényt jelent. (Ez esetben a vezeték nélküli távadó technika, készenléti mérőrendszerként kiemelt szerepet kaphat, de teljesítményigénye nem jelent komoly többletet.)

Normál vagy üzemzavari leállást, leállítást követő remanens hőelvonás (lehűtés) teljesítményigénye, a lehűtés 72–120 órás időtartama alatt, a főbb fogyasztókat figyelembe véve:

- 2db fő Keringető szivattyú 1600kW/szivattyú (6kV);
- 1db Tápszivattyú 2500kW (6kV);
- 1db Üzemzavari tápszivattyú 200kW (0.4kV).

A lehűtés utolsó fázisában már csak két darab lehűtő szivattyú üzemel (160kW/gép, 0.4kV feszültségről). Additíve hozzájön a fentiek (jellemzően relés) vezérlése, mérő- és szabályzó köreik. A leállítást pillanatában jelentkező maximális teljesítményigény megközelítően 6000kW (6MW), ami a 72–120 óra elteltével 300–400kW-ra csökken. Nem elhanyagolható, hogy a „nagy” szivattyúk 6kV 50Hz feszültségigényűek.

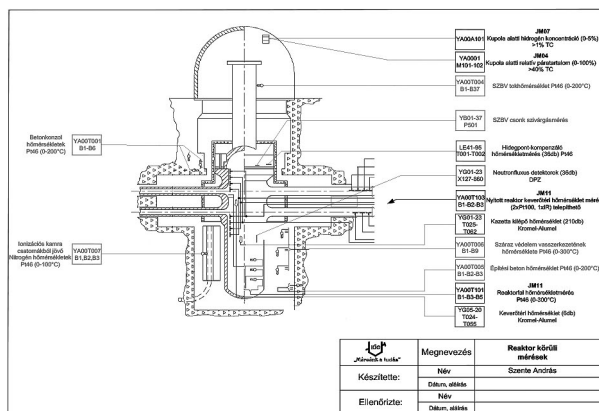
Zóna üzemzavari hűtőrendszerek teljesítményigénye, automatikus védelmi jelre, a deklarált üzemzavar típusok esetén:

- 3db Nagynyomású zóna üzemzavari szivattyú 520kW/szivattyú, 6kV;
- 3db Kisnyomású zóna üzemzavari szivattyú 125kW/szivattyú, 0.4kV;
- 3db Spinkler-rendszeri szivattyú 160kW/szivattyú, 0.4kV.

A legkedvezőtlenebb üzemzavari szituációt feltételezve mintegy 2500kW teljesítményigény lép fel az üzemzavari lehűtés időtartamára.

Reaktortartály felületi hőmérsékletét (pontosabban a reaktorfal fémhőmérsékletét) folyamatosan méri és regisztrálják, saját készítésű P&I-sémán szemléltetve ez három darab Pt46 ellenállás-hőmérő (YA00T101B1, B3, B5 alfanumerikájú mérések, egymáshoz képest 120°-ra elhelyezve). Normál üzem során, a kampány egészében ezek a mérések 240°C–250°C értéket mutatnak. A felületi hőmérséklet-eloszlás modellezéséről nincs tudomásunk, de hozzávetőleg ez az érték igaz a teljes falfelületre.

16. ábra. Saját készítésű P&I-séma



TELJESÍTMÉNYVISZONYOK, -SZÜKSÉGLETEK VVER 440 REAKTORBLOKK  
ÜZEMZAVARI LEÁLLÍTÁSA ESETÉN

A szabályzó és biztonságvédelmi rendszer tartozéka a 37db bóracél rúd, feladata a reaktivitás (reaktor-teljesítmény) gyors változtathatóságának biztosítása. A rendszer az operátori kézi parancsokat, a reaktor teljesítményszabályzó jeleit, illetve a reaktorvédelmi rendszer kimenőjeleit hajtja végre, a huzalozott prioritások betartásával. A 37db szabályzó rudat (bóracél rudat) 1–1 reluktancia motor (összesen 37db reluktancia motor) mozgatja. Egy motor teljesítményigénye motoros mozgatáskor 3900W. A teljesítményszabályzó, illetve üzemi sebességgel történő leterhelés 20mm/s névleges sebességgel történik, ezen motorok 1Hz-es betápláló frekvenciájának köszönhetően. Állandó teljesítmény tartáskor a motorokra DC feszültséget kapcsolunk („tartó üzemmód”) ilyenkor a teljesítményigény valamivel kevesebb.

Az üzemzavari leállítást a 37db hajtás egyidejű kikapcsolásával, a bóracél rudak aktív zónába történő beejtésével történik. Ennek sebessége 200mm/s, egy centrifugális fék, illetve egy fékezőcső-tüske által garantáltan. Az üzemzavari leállításnak teljesítményigénye nincs, azt a gravitáció biztosítja, teljesen biztonságos leállítási forma.

Fontos megjegyezni, az említett szabályzó és biztonságvédelmi rendszer egyenfeszültségű betápláló rendszere a rendelkezésre állás növelése céljából akkumulátoros sínről is megtámasztott (220V DC), a gyors reaktorleállításhoz semminemű betáplálásra nincs szükség.

A reaktorteljesítményt %-os skálán mérve exponenciális függvény, a %-os skálával tesszük számszakilag „emberi léptékűvé” a neutronfluxust (ami az egységnyi idő alatt, egységnyi felületen áthaladó neutronok száma). 100%-os teljesítményhez viszonyítva a szabályzó rudak alsó vég helyzetében a reaktorteljesítmény ezen skálán kisebb mint egy százalék, a turbinák forgatására (villamos energia előállításra) már nem alkalmas. Azt mondjuk, a reaktor állapota szubkritikus, azaz a neutron sokszorozási tényező  $< 1$ . (Egy darab neutron már nem hoz létre egy újabb neutron, a láncreakció leállt). Azonban a teljes neutronfluxus-tartomány 10–10%-tól 100%-ig értelmezett, energetikai célokra az 1–100% tartomány használható.

Az említett motorokkal történő reaktivitás (teljesítmény) változtatási lehetőség a gyors teljesítmény-változtatás eszköze (akár üzemi sebességgel, akár ejtéssel), amit szabályozási, gyorsleállítási célra használunk. A másik reaktivitás-változtatási lehetőség, amit az üzemanyag kiegészének kompenzálására használunk, a hűtővíz bórkoncentrációjának változtatása. Ez egy nagyon lassú lehetőség, a kampány során fokozatosan – hogy a teljesítmény ne csökkenjen az üzemanyag kiegészével, folyamatosan), a fővízkörből elvett adott koncentrációjú bóros víz helyett tiszta kondenzvizet adunk be, így a bórsav-koncentráció folyamatosan csökken, a kampány végére (kb. 11 hónap alatt) 0 g/l lesz, mintegy 12g/l-ről indulva.

A motoros mozgatás teljesítményigénye a 37db motor vezérlésével együtt közel 400kW. (Ez a motoros mozgatás összes teljesítményigénye.)

A folyamatos, üzemközbeni bóros manipulációkhoz hat darab üzemelő fő keringető szivattyú, pótvíz-szivattyú és még néhány segédrendszer szükségesek, teljesítményigénye meghaladja a 10MW-ot. Azonban a leállási felbórozás két fő keringető szivattyúval történik, ehhez 4MW is elegendő.

A fentiek alapján kiemelendő, hogy a reaktor leállítása (azaz a láncreakció leállítása) és a maradékhő-elvonás, két, egymástól elkülöníthető folyamat. Az első szakasz, a leállítási szakasz, a szubkritikus reaktorrállapot létrehozható energiaigény nélkül, mintegy 10s időtartam alatt (ennyi idő alatt esnek a zónába a szabályzó rudak). A leállítási folyamat második, a „remanens hőelvonás” szakasza, 70–120 óra, a  $T_{\text{ÁTLAG}} < 60^{\circ}\text{C}$  eléréséhez szükséges. Megjegyzendő, hogy az első szakasz általában könnyen teljesül, és problémamentes. A második szakasz, a hőelvonás betápegység-igénye miatt okoz időnként nehézséget (Pl.: Fukushima, Diesel-generátorok hiánya), ami az aktív zóna károsodásához vezet.

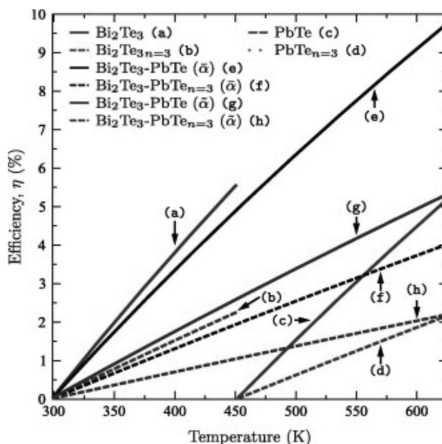
#### IV. D. Megközelítő számítás a TEG segítségével kinyerhető teljesítményre

A lehetséges primerkörü felületek felmérése: hat fővízköri hurok esetében, azok TEG-gel befedhető hossza összesen 120 m, hideg és melegág esetében 10–10 m-el számolva. Értelemszerűen a kezelést, üzemeltetést szolgáló berendezések, csonkok, szelepek, hőmérő zsákok helyeit nem érintheti a TEG-gel való lefedés. 560 mm átmérőjű fővízköri vezeték esetén csak a jelentősebb csőhálózaton 210m<sup>2</sup> felületű, 270°C átlagos hőmérsékletű felülethez jutunk. Ezt azt jelenti, hogy a hidegágakon 250°C, a melegágakon 280°C képes fűteni az ott elhelyezett TEG-et. Hat darab, fekvő elrendezésű, 10m hosszú, 4m átmérőjű gőzfejlesztővel számolva 754m<sup>2</sup>, szintén 220°C felületi hőmérsékletű bevonható felületet kapunk. Jelentősebb felületű főberendezés még az egy darab térfogat-kiegyenlítő, ahol a bevonható felület 52m<sup>2</sup>, viszont a felület hőmérséklete 280°C. A szekunderkörü technológia hasonló feltárása: a 135m hosszú, 465mm átmérőjű főgőzrendszeri vezetékek 197m<sup>2</sup> felületű, 220°C hőmérsékletű területet jelentenek. A tápvízrendszer 180°C átlaghőmérsékletével számolva, 426mm átmérőn 120m hosszon 160m<sup>2</sup> hasznosítható felületet kapunk. A nagyobb szekunderkörü tartályok, kis- és nagynyomású előmelegítő sorok, táptartályok hasznosítható felületei, blokkra vonatkoztatva: 395m<sup>2</sup>, 100°C átlaghőmérsékletű kisnyomású előmelegítő, 480m<sup>2</sup>, 200°C átlaghőmérsékletű nagynyomású előmelegítő, két darab 105m<sup>2</sup>, 150°C hőmérsékletű táptartály. A fentiek a fontosabb, segédrendszerek, kis felületek elhanyagolásával számított energiavisszanyerési lehetőségek. A helyiség-hőmérsékletek, „hideg oldali hőmérsékletek” 30°C–50°C közöttiek.

Thomson, Seebeck és Peltier kutatásai nyomán hőelemet régóta használunk mérés-technikai célokra. Azonban új anyagokkal való kísérletek a jelenség tápegység-forrásként történő alkalmazását is lehetővé tették. Az ilyen, termoelektromos modulok (TEG-ek) egyik legjobb termoelektromos paraméterekkel rendelkező csoportja a bizmuttelligrid (Bi<sub>2</sub>TE<sub>3</sub>) alapú pszeudobináris ötvözetek csoportja. Néhány fontosabb TEG-anyagpár hatásfokát mutatja hőmérséklet függvényében a 17. ábra.



17. ábra. TEG-anyagpár hatásfoka



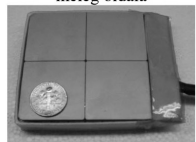
### EGY ALKALMAZHATÓ HŐELEM ÉS A VELE KINYERHETŐ TELJESÍTMÉNY

Egyes területek – űrkutatás, járműipar, hadiipar – nagy várakozással tekint a hőelektromos modulok alkalmazása felé. Kézenfekvő, hogy az erőművi alkalmazást is átgondoljuk.

18. ábra. CMO-32-62S CASCADE TEG-modul



meleg oldala



hideg oldala

Hőforrás hőmérséklete: 500 °C  
 Meleg oldali hőmérséklete: 480 °C  
 Hideg oldali hőmérséklet: 45 °C  
 Üresjárási feszültség: 19.45 V  
 Kapocsfeszültség: 9.75 V  
 Terhelőáram: 1.13 A  
 Kimeneti teljesítmény: 11.0 W  
 Felület: 0.004 m<sup>2</sup>

A fent levezett, atomerőműre vonatkoztatott nagy hőmérsékletű felületek esetében visszanyerhető teljesítmény: a fővízköri vezetéseken 325kW, a gőzfejlesztőkön közel 1MW, a térfogat-kiegyenlítőn mintegy 82kW. A főgőz rendszeren 250kW, a tápvíz rendszeren 165kW, a kisnyomású előmelegítőkön 226kW, nagynyomású előmelegítőkön 550kW, táptartályokon 90kW teljesítményhez jutunk. Mindez a blokk egészére nézve 2,68MW, ami egy 500MW-os blokk esetében több mint fél százalék teljesítmény- és hatásfok-növekedést jelent. A fenti számítások a kiválasztott, nagy hőmérséklet-tartományú TEG-gel kerültek elvégzésre, amennyiben a hőszigetelő rétegek helyén ezek állnának. A bevitt hőenergia miatt az így nyert feszültség kvázi szünetmentesnek tekinthető, a modulok soros kapcsolásával tetszőleges érték nyerhető. Ez a teljesítmény nagy fogyasztók (szivattyúk, motorok) megápolásához nem elegendő, ennek a kis DC-szintnek az átalakítása is nehézkes, az irányítástechnikai fogyasztók tápellátásához viszont megfelelő. A mérőkörök jellemzően 24 V DC megápolással rendelkeznek, kis fogyasztásúak (0,5W/mérőkör).

#### A KINYERHETŐ TELJESÍTMÉNY FELHASZNÁLHATÓSÁGA

Egy atomerőművi blokk esetében mintegy ezer darab mérőkörrel – tartálysint, nyomás, hőmérséklet, dozimetriai és analitikai mérések – számolva, a TEG-gel előállított teljesítmény fedezi az igényeket. Emellett más információt feldolgozó, számítástechnikai rendszerek, processzor alapú rendszerek – reaktorvédelem, folyamatirányító berendezések – is végezhetik. A megtermelt energián túl, az ilyen alkalmazás biztonság-növelő hatása még inkább értékelhető. Célszerű létrehozni egy TEG-gel előállított biztonsági 24V DC-sínt, amely több üzemmódban üzemelhet. Állandó normál üzem mellett megápolhatja elsődleges betápláló rendszerként a felsorolt fogyasztókat. Feszültségkimaradással járó üzembiztonsági helyzetekben ez a sín tartalékáramforrásként viselkedhet, átkapcsoló automatika segítségével veszi át az elsődleges rendszer szerepét. De köztes megoldásként – elektronikusan a TEG-sínrendszerrel alkalmazható – szünetmentesíthető, megtámasztható alacsonyabb megbízhatóságú DC-betápláló rendszer. A megoldással az erőművi betápláló rendszerek – hacsak viszonylag kis teljesítményszint erejéig is – kapnak egy új „pillért”, mintegy harmadik típusú megoldást, a normál villamos háziüzemi rendszerek, valamint a Diesel-generátorok mellett.

Másik, nem elhanyagolható szempont – erőművek esetében – a TEG valamennyi moduljának számító-gépes kiértékelése egy komplett mérő- és diagnosztikai rendszert alkot. A befedett főberendezések – tartályok, hőcserélők, csővezetékek – 3D-s hőtérképét kapjuk, amennyiben azt megfelelő szoftverrel értékeljük ki. A TEG – gyors válaszidejű eszköz lévén – alkalmas csővezetékek áramló közegeinek mennyiségmérésére, analízisére. Mindez azonban elhanyagolható a tápfeszültségforrásként nyújtott biztonság-növelő hatása mellett.

## Összegzés

Írásunkban igyekeztünk bemutatni, hogy a miként lehet szimulálni egy magára hagyott atomerőműben végbemenő folyamatokat. Amint látszik, ezt a Matlabbal tökéletesen meg lehet oldani. A szimuláció összeállítása során a remanens hőelvonás harmadik, diverz módjának elvi kialakítási lehetőségét is vázoltuk. A további vizsgálataink során nagyobb hangsúlyt igyekeztünk fektetni a szimulált rendszer pontosítására és annak fizikai megvalósításának lehetőségeire.

A tanulmányozás során az a következtetés vonható le, hogy van létjogosultsága a TEG használatának atomerőművekben. Lehet, hogy várni kell még pár évet ahhoz, hogy olyan paraméterű TEG-ek kerüljenek fejlesztésre, melyek segítségével nagyobb teljesítmény állítható elő (és ennek köszönhetően nagyobb teljesítményű motorok üzemeltethetők vele), de az itt felvázolt eredmények biztatónak mondhatók. Ha csak arra gondolunk, hogy az itt eredményként kapott 2,68 MW, egy kisebb település napi fogyasztását is fedezni tudja, vagy a már említett mérő és jelzőberendezések áramszükségletét tudja kielégíteni, már megéri foglalkozni vele. Mindenféleképpen érdemes továbbgondolni a kritikus leállás, vészhelyzetek bekövetkezésekor való használatát is.



# *Az e-kereskedelem és a UX: sikeres online vásárlás kulcsa*

**Összefoglalás:** Az e-kereskedelem és az online vásárlás dinamikusan fejlődik és változik, egyre többen választják ezt a kényelmes megoldást a hagyományos üzletekben történő vásárlás helyett. Az online kiskereskedők sikerének kulcsa, hogy igyekeznek a lehető legteljesebben kiszolgálni a vásárlók igényeit, nemcsak a termékkínálatban, hanem az értékesítési folyamat során a vásárlói elégedettség tekintetében is. A UX tervezésénél figyelembe kell venni minden olyan elemet, amely befolyásolja a felhasználó vásárlási élményét, érzéseit és benyomásait. Manapság nincs helyzeti előny innováció nélkül!

**Kulcsszavak:** E-kereskedelem, felhasználói élmény, innováció.

**Abstract:** The e-commerce and online shopping is developing and changing dynamically, more and more people are choosing this convenient solution instead of shopping in a traditional store. The key to the success of online retailers is to try to serve the customers' needs as fully as possible, not only in the product supply, but also in terms of customer satisfaction during the sales process. When designing UX, all elements that influence the user's shopping experience, feelings, and impressions must be taken into purchase. Nowadays, there is no positional advantage without innovation!

**Keywords:** E-commerce, user experience, innovation.

## Bevezetés

Az elektronikus és mobil eszközök térnyerése kiterjesztette a kereskedelem hatókörét, lehetővé téve az ügyfelek számára, hogy akár útközben is vásároljanak. Továbbá az olyan feltörekvő technológiák, mint a mesterséges intelligencia (AI), a virtuális valóság (VR) és a kiterjesztett valóság (AR) megváltoztatják a termékek online bemutatásának módját és élményét.

\* Dunaiújvárosi Egyetem,  
Informatikai Intézet  
Email: mkollar@uniduna.hu

[1] Anna Baluch (2023):  
38 E-Commerce  
Statistics Of 2023.  
Link: <https://www.forbes.com/advisor/business/ecommerce-statistics/>

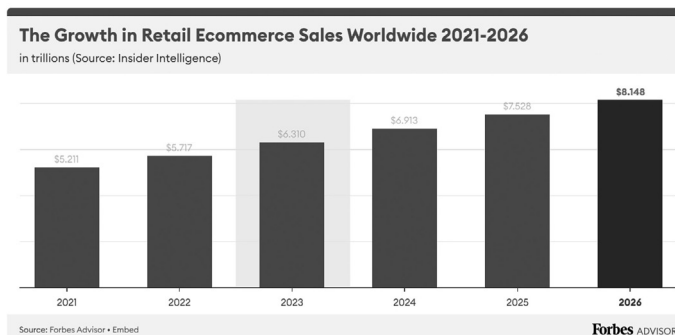
A mesterséges intelligencia ráadásul mindkét oldal számára pozitív hozadékkal járhat: például valós idejű adatelemzésre, üzleti folyamatok automatizálására és a költségek csökkentésére ad lehetőséget az eladó számára, de a vevők is nyerhetnek, hiszen akár továbbfejlesztett ügyfélszolgálattal, termékajánlással, hangfelismessel és nagyobb adatbiztonsággal találkozhatnak.

A globális e-kereskedelmi piacot a fejlett, innovatív technológiák (például az AI, a VR és a AR) növekvő integrációja mellett a fogyasztók online vásárlás iránti egyre nagyobb hajlandósága, a növekvő befektetések, a bővülő együttműködés (például a bankszektorral és logisztikai cégekkel) és a kormányzati kezdeményezések vezérik.

Manapság jellemző, hogy a lakosság első találkozása egy vállalkozással az online térben történik (különösen, ha a vállalat aktív a közösségi médiában). Tekintettel arra, hogy az üzleti szervezetek igyekeznek a költségeiket minimalizálni, minél hatékonyabban működni, kézenfekvő megoldás, hogy az üzlethelyiség bérlete, az eladók és biztonsági őrök munkabérének kifizetése helyett inkább az internetre terelik át a forgalmukat.

Az e-kereskedelem mindkét fél (az eladó és a vevő) számára rengeteg előnnyel jár, ami népszerűségét évek óta fokozza. A Forbes által megjelentetett előrejelzés szerint 2026-ra a lakossági vásárlások 24%-a már online fog történni (1. ábra). [1].

1. ábra. A globális e-kereskedelmi piac várható alakulása 2026-ig trillió USD-ben [1]



Ahhoz, hogy az ügyfél szívesen vásároljon online, a vállalkozás minél nagyobb forgalmat realizálhasson, olyan webshoppal kell a vevői igényeket kielégíteni, amelyben szívesen vásárolnak.

Ma már a verseny hatalmas ezen a területen is, számos eladó próbálja értékesíteni a termékét, vagy szolgáltatását. Ez azt jelenti, hogy az rendelkezik előnnyel, aki olyan élményt és szolgáltatást nyújt a vásárlóinak, amivel magához tudja a vonzani versenytárs vevőjét is. Ráadásul nem elég átcsábítani a saját online áruházába, ott is kell tartani a vásárlót! Szintén a Forbes cikke mutat rá, hogy az online szállítókosár elhagyási-arány mobileszközön 84%, asztali számítógépen pedig 72% [1]. Ennek csökkentése pedig csak úgy lehetséges, hogy gyorsnak és zökkenőmentesnek, továbbá megbízhatónak kell lenni a vásárlási folyamatnak. Ez pedig csak a felhasználói élmény fokozása által lehetséges.

A felhasználói élmény (UX) a felhasználó által egy termék vagy szolgáltatás használata során átélt érzéseket és benyomásokat összefoglaló fogalom. Az online környezetben a UX azt jelenti, hogy a weboldal vagy alkalmazás használata során milyen könnyen navigálhat a felhasználó, mennyire hatékonyan talál információkat és hogyan képes végrehajtani a kívánt műveleteket.

Az e-kereskedelem sikere szorosan összefügg a UX-szel, mivel egy nehezen használható, zavaró vagy bonyolult online felület könnyen elriaszthatja a potenciális vásárlókat [2]. Ennek érdekében fontos az **egyszerű navigáció** és keresési folyamatok kialakítása, a **mobilitás dizájn** alkalmazása, a **gyors betöltési idők** biztosítása, valamint a **biztonság** és **megbízhatóság** fenntartása. Emellett az elégedett ügyfelek **visszajelzéseinek és értékeléseinek** megjelenítése növeli az online bolt hitelességét és segíti a vásárlókat a döntéshozatalban.

Az e-kereskedelem és a UX szoros kölcsönhatásban állnak és azok a vállalkozások, amelyek hangsúlyt fektetnek a felhasználói élmény folyamatos fejlesztésére, optimalizálására, magabiztosan léphetnek a digitális piacra, elérve hosszú távú sikerüket az online térben.

## Egyszerű navigáció és keresési folyamatok

Az online kereskedők sikerének egyik kulcsa az, hogy a vevők számára egyszerűvé és zökkenőmentessé tegyék az árukeresést és a vásárlási folyamatot. A vásárlók gyors és hatékony információelérést várnak el. Ha egy weboldal nehezen áttekinthető, a termékek vagy szolgáltatások nem érhetők el könnyen, a látogatók bármikor eltévedhetnek az oldalon.

[1] Anna Baluch (2023): *38 E-Commerce Statistics Of 2023*. Link: <https://www.forbes.com/advisor/business/ecommerce-statistics/>

[2] Gönczi Kinga–Hlédik Erika (2020): Online vásárlási folyamat hatékonyságának növelése. *Vezetéstudomány*, Budapest: Budapest Management Review. 51., (03.), pp. 56–66 Link: <https://journals.lib.uni-corvinus.hu/index.php/vezetestudomany/issue/view/38/4>

[1] Anna Baluch (2023): *38 E-Commerce Statistics Of 2023*. Link: <https://www.forbes.com/advisor/business/ecommerce-statistics/>

[3] Balla Adrián (2021): *UX az e-kereskedelemben: amikor a jó nem elég*. Link: <https://kosarertek.hu/konverzio/ux-az-e-kereskedelemben-amikor-a-jo-nem-eleg/>

[4] User experience (UX): *the ultimate guide*. Link: <https://www.qualtrics.com/uk/experience-management/customer/user-experience/>

Az egyszerű navigáció lehetővé teszi, hogy a felhasználók könnyen böngésszenek az áruk között, gyorsan eljussanak a keresett kategóriákhoz és ne vesszenek el a túl bonyolult menükben, ne veszíthessék el az érdeklődésüket. Az oldalon kereső, bolyongó látogatók magas száma fontos jelzést ad az üzemeltetőnek arról, hogy valami nem jól működik, vagy legalábbis javításra szorul az ügyfélműködés. [3]

## Mobilbarát dizájn alkalmazása

A dizájn az első dolog, amivel a felhasználó találkozik, amikor megnyit egy alkalmazást vagy weboldalt. A felhasználói élmény fokozása nem csak egyszerűen a minél tökéletesebb UI (a felhasználói felület) tervezésében merül ki, hiszen a UX nem csak a küllemre, hanem a működésre is fókuszál, figyelembe véve az ezt befolyásoló pszichológiai, kognitív és kontextuális tényezőket. Azonban a felület megjelenése nagyban befolyásolja a userok véleményét. Természetesen a tipográfia, a színpaletta, az animációk és a navigációs pontok (például gombok, érintősávok) harmonikus megjelenése alapkövetelmény minden webshop számára (2. ábra) [4]. Azonban a Forbes által publikáltak szerint a vásárlók 91%-a okostelefonjával vásárol online [1]. Mindez pedig igazán fontos tényezővé teszi az elektronikus áruházak weboldalainak, illetve az applikációinak mobilra optimalizált megjelenését. A rezponzív dizájn alkalmazása lehetővé teszi, hogy az oldalak jól működjenek különböző képernyőméretek és eszközökön azok méretétől, valamint felbontásától függetlenül.

2. ábra. UX vs. UI [4]





## Gyors betöltési idők

Nem érünk rá kivárni, hogy egy oldal betöltődjön, néhány másodperc „homokórázást” is frusztrációként élünk meg. Ezért különösen fontos, hogy a webshopok üzemeltetői a weboldal vagy alkalmazás teljesítményét folyamatosan nyomon kövessék és ha szükséges, avatkozzanak be. A lassú oldalak idegesítővé válhatnak, ezáltal a vásárlók könnyen megunhatják a várakozást, amelyből az következik, hogy megszakítják a vásárlást.

## Biztonság és megbízhatóság

Az ügyfelek biztonsággal, megbízhatósággal kapcsolatos igényei több területen is jelentkeznek: vonatkozik ez például a vásárlás ellenértékének kifizetésével és a saját adataikkal kapcsolatos elvárásokra, az elérhető információkban való bizodalomra, a folyamatos rendelkezésre állásra, valamint a szállítás pontos és mielőbbi bekövetkezésére.

Talán a felsoroltak közül leghangsúlyosabb és mindenképpen hűsbavágó kérdés, hogy a vevők biztonságban tudhassák az adataikat. Legkésőbb a fizetési folyamatban érzékeny adatok kerülhetnek az eladó – és sajnos időnként a kiberbűnözők – tudtára. Világos, hogy a készpénzmentes vásárlás kényelmes szolgáltatás, ezt bizonyítja az a tény is, hogy 2023. első félévben már az e-kereskedelmi tranzakciók 68,8%-a elektronikus fizetéssel került kiegyenlítésre [5]. Azonban a veszély komoly: Magyarországon a bankkártyás csalások száma 2021 óta másfélszeresére nőtt 2023-ra [6]. A képet tovább árnyalja, hogy nem csak a vevőket célozzák a hackerek, hiszen a gyenge pontokat keresik. Ha a vállalatok a saját infrastruktúrájukat védik is, a vállalati rendszerek felhasználói, valamint az ellátási láncok szereplői is kaput nyithatnak a rosszindulatú támadásoknak (3. ábra). A jogalkotók is felismerték, hogy az online vásárlás legkritikusabb területe a biztonság kérdése. Emiatt is került bevezetésre az SCA (Strong Customer Authentication, vagyis erős ügyfélhitelesítés). Azonban mindez kevés, az összes szereplő tudatos védelmi magatartása nélkül a felhasználók nem érezhetik magukat biztonságban.

[5] GKID Research & Consultinn (2023): *Digitális Kereskedelmi Körkép 2023 / II. – tovább polarizálódik az e-kereskedelem.*

Link: <https://gkid.hu/2023/10/05/digitalis-kereskedelmi-korkep-2023-ii-tovabb-polarizalodik-az-e-kereskedelem>

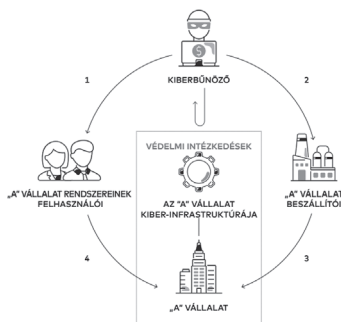
[6] Mastercard: *Digitális biztonság a kiberbűnözés korában – Folyamatos támadás alatt állunk.*

Link: <https://www.mastercard.hu/hu-hu/mastercard-uzleti-megoldasok/kiberbiztonsagi-megoldasok.html>

[6] Mastercard: *Digitális biztonság a kiberbűnözés korában – Folyamatos támadás alatt állunk.* Link: <https://www.mastercard.hu/hu-hu/mastercard-uzleti-megoldasok/kiberbiztonsagi-megoldasok.html>

[7] PwC: *Experience is everything: Here's how to get it right.* Link: <https://www.pwc.com/us/en/advisory-services/publications/consumer-intelligence-series/pwc-consumer-intelligence-series-consumer-experience.pdf>

3. ábra. Gyenge pontokat támadják a családok [6]



Az elektronikus kereskedelem egyik vívmánya, hogy a webshopok folyamatos rendelkezésre állása révén a hét minden napján és minden órában lehetőség van vásárolni. A vevők elvárják, hogy a technológia mindig működjön (és talán nem is veszik tudomásul a technológiai újdonságokat egészen addig, amíg hibamentesen zajlik a folyamat). Azt akarják, hogy a weboldalak és mobilalkalmazások kialakítása elegáns, kényelmes és felhasználóbarát legyen; automatizálást akarnak az élmény javítása érdekében. Azonban ezeknek az innovációknak nincs értelme, ha hiányzik a gyorsaság, a kényelem és nincsenek a megfelelő információk a kellő időben és helyen.

A PwC kutatása szerint az ügyfelek elvárják az automatizált megoldásokat, a mesterséges intelligenciát és más technológiai újításokat, de az emberi interakció szükség szerinti elérhetősége is nagyon fontos szempont számukra [7] (4. ábra).

4. ábra. Emberi, vagy automatizált interakciók [6]



Az e-kereskedelem dinamikus növekedése elképzelhetetlen az ellátási láncok bővülése nélkül. Az ügyfélművelés nem lehet teljes anélkül, hogy különböző fejlesztések ne történjenek ezen a területen is. Az elmúlt időszakban (a COVID-19 által hirtelen generált volumennövekedés miatt) komoly kihívással kellett szembenézni mind az értékesítéssel, mind a logisztikával foglalkozó vállalkozásoknak. Az tudott győztesen kikerülni ebből a helyzetből, aki a megváltozott helyzetre gyorsan tudott reagálni, az információáramlással együtt az anyagáramlást is fejleszteni tudta. Elsősorban a kiszállítás díjában, pontosságában és gyorsaságában, illetőleg a rendelések fogadásának idejében változtak, növekedtek meg a vevői elvárások. Erre válaszul az üzleti szektornak a hagyományos szállítási, komissiózási és tárolási feladatokat automata kiadó, azonosító és nyomkövető rendszerekkel kellett kiegészíteni. [8]

Van még hova fejlődni, természetesen. A jövő kereskedőinek nem költségtényezőként kell erre a területre tekinteni, hiszen akár versenylőnyt is szerezhetnek azáltal, hogy ott és akkor tudják a vevők rendelkezésére bocsátani az óhajtott terméket, ahol és amikor szükség van rá [9].

## Ügyfelek visszajelzései és értékelései (összefoglalás)

Manapság már egy jó weboldal, vagy alkalmazás nem készülhetne el a jövőbeni felhasználók visszajelzése nélkül. Ha a webáruház használata nehézkes, a felület bonyolult, akkor hamar átkatinthatnak máshova [10]. Ezt kell megakadályozni azzal, hogy a tesztelést is betervezzük az online boltok elkészítési folyamatába és erre is szánunk időt, forrást. Azonban nem csak azzal szavaz az elégedett vásárló, hogy visszatér újra és újra, hanem a termékeket és magát a boltot is értékeli.

Az elégedett ügyfelek pozitív visszajelzéseket hagynak, ami növeli az online bolt hitelességét. A visszajelzések és értékelések megjelenítése segíthet a vásárlóknak a döntésben és hozzájárulhat a termékek vagy szolgáltatások minőségének megítéléséhez.

[8] Póka Viktor (2022): E-kereskedelem és az e-kereskedelmi logisztika oktatási tapasztalatai az Edutus Egyetemen. *Acta Periodica*, 25., pp. 54–63.

[9] Tóth Róbert–Pónusz Mónika–Kozma Tímea (2018): A vállalkozások stratégiájának és üzleti modelljének változása napjainkban: az e-kereskedelem tendenciái és megjelenési formái az ellátási láncokban, *Logisztikai trendek és legjobb gyakorlatok*, 4., (2.), pp. 10–15.

[10] Herendy Csilla (2019): Miért fontos a user experience, a mentális modellek kutatása és mi közik van a közigazgatáshoz? *E-Government Tanulmányok*, 44., Budapest: E-Government Alapítvány a Közigazgatás Modernizációjáért, pp. 101–109.

## Összefoglalás

Az e-kereskedelem és a felhasználói élmény (UX) szoros kapcsolatban állnak egymással és együtt határozzák meg az online kereskedelem sikerét. Az innovatív technológiai megoldások mellett a UX kialakításakor fontos az egyszerű navigáció és keresés, a mobilbarát dizájn, a gyors betöltési idők, valamint a biztonság és megbízhatóság. Az online boltoknak meg kell felelniük a felhasználói elvárásoknak, különben könnyen elveszíthetik potenciális vásárlóikat.



## *Energiaközösség*

**Összefoglalás:** A cikk a modern energiarendszerek átalakulásának témáját vizsgálja, különös tekintettel az energiaközösségek kialakulására és az úgynevezett Okosközösség-konceptiójára. Elemzi a decentralizált energiatermelés jelentőségét és az energiaellátás fenntarthatóságát elősegítő közösségi megközelítéseket. A szerzők kiemelik az alternatív energiatermelési módszerek, mint a nap- és szélenergia, egyre növekvő szerepét, valamint a közösségi energia megosztásának és elszámolásának különböző módjait. A cikk részletezi az okosotthonok és okosközösségek technológiai felépítését, valamint a decentralizált energiatermelés társadalmi és gazdasági előnyeit. Végül a cikk a környezetvédelmi szempontokat és a fenntartható energiahasználatot helyezi előtérbe, kiemelve az energiaközösségek szerepét ebben a folyamatban. **Kulcsszavak:** Energiaközösségek, okosközösség, decentralizált energiatermelés, fenntartható energiaellátás, megújuló energiaforrások, energiamegosztás, okosotthon.

**Abstract:** This article examines the transformation of modern energy systems, with a particular focus on the emergence of energy communities and the concept of the so-called Ecocommunity. It analyses the importance of decentralised energy production and community approaches to energy sustainability. The authors highlight the growing role of alternative energy production methods such as solar and wind power, and the different ways of sharing and accounting for energy in the community. The article details the technological architecture of smart homes and smart communities and the social and economic benefits of decentralised energy production. Finally, the article focuses on environmental aspects and sustainable energy use, highlighting the role of energy communities in this process.

**Keywords:** Energy communities, eco-community, decentralised energy production, sustainable energy supply, renewable energy sources, energy sharing, eco-home.

\* *Dunaiújvárosi Egyetem,  
Informatikai Intézet*  
Email: gele.istvan@gmail.com

\*\* *Dunaiújvárosi Egyetem,  
Informatikai Intézet*  
Email: tobeli@uniduna.hu

## Bevezető

Az elmúlt évtizedekben a villamosenergia-ellátás jelentős átalakuláson ment keresztül, kezdetben a fosszilis és nukleáris erőforrásokból származó egységes rendszerből, ami a fogyasztók számára megbízható, de egyirányú szolgáltatást biztosított. Az alternatív energiatermelés fejlődése, környezetvédelmi mozgalmak és az üvegházhatású gázok kibocsátásának csökkentésére irányuló törekvések azonban forradalmi változásokat hoztak. A nap-, szél- és más megújuló energiatermelési módszerek versenyképessé váltak.

Ebben az új paradigmában energiaközösségek jöttek létre, ahol a kliensek nem csak energiafogyasztók, hanem energiatermelők is. Ezen változások mellett több megoldás is van az energiaközösségek további optimalizálására, az egyik az ún. Okosközösség koncepciója. Ez egy informatikai rendszer, ami az okosotthon-megoldások elvét kiterjeszti az egész közösségre. Az Okosközösség lehetővé teszi az energia időzített fogyasztók és tárolók intelligens irányítását, minimalizálva ezzel az energiakereskedőktől való vásárlás szükségességét. Ez a rendszer nemcsak az energiahatékonyt növelheti, hanem a fenntartható energiatermelés és -fogyasztás terén is új lehetőségeket kínál.

Fontos kiemelni, hogy az ilyen rendszerek bevezetése kihívásokkal jár, mint például az adatvédelem, hálózati biztonság. Azonban az Okosközösség megvalósítása hozzájárulhat a fenntartható energiahasználat előmozdításában és a közösségi alapú energiatermelés fejlődéséhez.

A cikk célja az energiaközösségek és az úgynevezett Okosközösségek kialakulásának, jelentőségének és működésének vizsgálata a modern energiarendszerek kontextusában. Fókuszál a decentralizált energiatermelésre, különös tekintettel a megújuló energiaforrásokra, mint a nap- és szélenergia. A cikk célja továbbá a közösségi energia megosztásának, elszámolásának, módozatainak és technológiai lehetőségeinek feltárása, beleértve az okosotthonokat és okosközösségeket. Kitér a decentralizált energiatermelés társadalmi és gazdasági előnyeinek bemutatására, valamint a környezetvédelmi szempontok és a fenntartható energiahasználat fontosságának hangsúlyozására. Egyértelműen az energiarendszer-változásokra és az energiagazdálkodás jövőbeli irányaira koncentrál, kiemelve az energiaközösségek szerepét ebben a folyamatban.

## Termelő fogyasztók

A szűkösség, legyen az anyagi, gazdasági vagy energetikai, kiemelt kihívást jelent a modern társadalmaknak. Az erőforrások korlátozott rendelkezésre állása ösztönző erőt hoz létre a hatékony gazdálkodás és az alternatív energiatermelés irányába. Az energiaellátás szűkössége különösen nagy nyomást gyakorol a világra, a decentralizált energiatermelés hatékony eszköz lehet ennek enyhítésére.

Magyarországon a napenergia egyre fontosabb szerepet játszik, hiszen az ország kedvező természeti adottságokkal rendelkezik ennek kihasználásához. Az energiaátmenet elengedhetetlen a klímaváltozás súlyos következményeinek ellensúlyozásához és a fenntarthatóbb energiarendszer kialakításához. A közösségi energia, amely szorosan kapcsolódik az energiaátmenethez, lehetővé teszi a helyi közösségek részvételét és befolyását az energiafelhasználás és -termelés terén. [1]

Az energiarendszerek decentralizációjának négy dimenziója van. Ezek a decentralizált erőművek elosztóhálózatokra csatlakozását, a földrajzi decentralizációt, a termelés és fogyasztás kiegyenlítésének decentralizációját, valamint a tulajdonosi struktúra változását foglalja magában. A közösségek és prosumerek (termelő-fogyasztók) egyre fontosabb szerepet játszanak az energiaellátásban, hozzájárulva a fenntarthatóbb és decentralizált energiarendszer kialakításához. A decentralizáció iránti növekvő érdeklődés egyfajta reakció a 20. század közepén kialakult centralizált energiarendszerekre. Ezen rendszerekben a nagyvállalatok uralták a piacot, és kevés lehetőség jutott az egyéni vagy közösségi kezdeményezéseknek.

Az olajválságok és a csernobili atomkatasztrófa rávilágítottak a centralizáció korlátaira és a környezeti veszélyekre, ami felgyorsította ezt a folyamatot az energia-termelés terén. A decentralizált energiatermelés nemcsak az energiaellátás függetlenségét növeli, de hozzájárul az ellátásbiztonság és az önellátás szintjének emeléséhez is. Az energiatermelés és -fogyasztás kiegyenlítésében részt vevő rugalmassági kapacitások decentralizációja további lépés a modern energiarendszerek felé. A tulajdonosi struktúra változása pedig a közösségek és prosumerek (termelők-fogyasztók) részvételének és befolyásának növekedését eredményezi. Ezen változásokkal összhangban a jövőben várhatóan a hibrid, központosított és decentralizált rendszerek együttműködése lesz meghatározó. A „rekommunalizációs” folyamat során a közösségek, szövetkezetek, lakóközösségek vagy akár települések egyre fontosabb szerepet fognak játszani az energiatermelésben, -tárolásban, és akár az energiakereskedelemben is. [2] [3]

Végül soron a decentralizált energiatermelés és az energia közösségi megközelítése nemcsak a fenntarthatóbb energiahasználatot segíti elő, hanem a társadalmi részvételt és az egyéni vagy közösségi kezdeményezések ösztönzését is hozza magával. Ez egy olyan paradigmaváltást képvisel, amely a helyi közösségeket is részeseivé teszi az energiaellátási folyamatoknak, a fenntarthatóság és az önfenntartás irányában történő előrelépést támogatva. A decentralizált energiatermelés és az energia közösségi megközelítése nemcsak a fenntarthatóbb energiahasználatot segíti elő,

[1] Baranya G. (2019): *A napenergia, mint potenciális területi tőke értékváltozása*. In: Közgazdász Doktoranduszok és Kutatók V. Nemzetközi Téli Konferenciája.

[2] Szentpáli Á.–Tóth P. (2021): *Az energiaközösségek megjelenése Magyarországon*. Budapest: Corvinus Egyetem Vezetéstudományi Intézet.

[3] Horváth P. J. (2022): *A közösségi energiatermelés szerepe a jövő energiarendszereiben*. *Kultúratudományi Szemle*, 3., (3.), pp. 26–43.

[3] Horváth P. J. (2022): A közösségi energiatermelés szerepe a jövő energiarendszereiben. *Kultúratudományi Szemle*, 3., (3.), pp. 26–43.

[4] Szuppinger P. (2000): „Decentralizáció a világ energia-rendszereiben. *Tér és Társadalom*, pp. 173–182.

[5] Bajor P. (2013): *Vezetékes ellátási hálózatok logisztikai rendszermodellezése*. Doktori értekezés. Győr: Széchenyi István Egyetem, Infrastrukturális Rendszerek Modellezése és Fejlesztése Multidiszciplináris Műszaki Tudományi Doktori Iskola.

[6] Innovációs és Technológiai Minisztérium, *Nemzeti Energia- és Klímaterv*, 2019.

hanem a társadalmi részvételt és az egyéni vagy közösségi kezdeményezések ösztönzését is magával hozza. Ez egy olyan paradigmaváltást képvisel, amely a helyi közösségeket is részeseivé teszi az energiaellátási folyamatoknak, a fenntarthatóság és az önfenntartás irányában történő előrelépést támogatva. A decentralizált energiaforrások, például napenergia, szélérőművek és egyéb megújuló energiaforrások, lehetőséget teremtenek a helyi közösségek számára az önfenntartásra. Ezen források elosztott elhelyezése és használata hozzájárul az energiaellátás terén kialakuló függetlenséghez, azaz az energiatermelés és fogyasztás helyi összekapcsolódásához. Ezen kívül a közösségi energia kezelése a környezetvédelmi szempontok mellett a gazdasági érdekekre is összpontosít. Az energiaközösségek lehetőséget teremtenek a helyi gazdaságok számára a területükön előállított energiatermelésen és értékesítésen keresztül való részvételre. Ez új munkahelyeket teremthet és gazdasági élénkülést hozhat a helyi közösségeknek. A közösségi energia tehát nem csak egy energiarendszer-váltás irányát mutatja, hanem egyúttal társadalmi és gazdasági előnyöket is hordoz. A helyi közösségek aktív részvétele az energiatermelésben és -felhasználásban hozzájárul a fenntarthatóbb, rugalmasabb és részvételi alapú energiarendszer kialakulásához. Az ilyen típusú innovációk segíthetnek a globális energiakihívások kezelésében, az éghajlatváltozás mérséklésében, és egyúttal erősítik a helyi közösségek autonómiáját az energiaellátás terén. [3] [4]

A kevesebb importenergia kisebb környezeti hatással, a fogyasztó szempontjából pedig kedvezőbb gazdasági eredménnyel jár. A villamosenergia-rendszer szempontjából is kedvezőbb (illetve kevésbé rossz) ez a megoldás, hiszen csökkenti a rendszeren belüli különbségeket, és lehetővé válik a beépített erőművi kapacitások szándékos túlméretezésének csökkentése is [5]

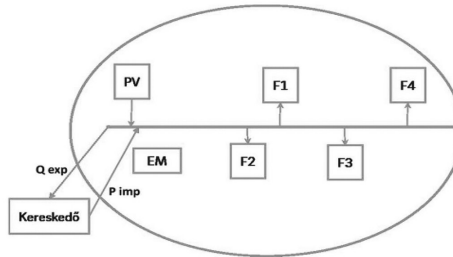
Az Európai Bizottság (EB) egyik fő célkitűzése az ellenállóenergia-unió és előrelátó klímaváltozási politika megteremtése. Ehhez kapcsolódóan kidolgozták az Energia Unió stratégiát 2015-ben, mely az Európai Tanács 2030-ig terjedő éghajlat- és energiapolitikáján alapul. Ennek központi célkitűzései közé tartozik az üvegházhatású gázok kibocsátásának legalább 40%-os csökkentése (1990-hez viszonyítva), legalább 27% piaci részesedés a megújuló energiában, valamint az energiahatékonyság legalább 27%-os javítása. Magyarország tervei szerint ebben az időszakban a villamosenergia-fogyasztás legalább húsz százalékát megújuló energiaforrásokból szeretné fedezni, ahol a napelemes kapacitások bővítése kulcsfontosságú elem [6].



## Energiaelszámolási közösség

Az 1. ábra a tervezett energiaközösség elvi elrendezését mutatja. A PV (photovoltaic) a háztartási méretű naperőművek általi termelést, az F a fogyasztást szimbolizálja. Az EM az energiaközösség „energiamenedzser” feladatkörét jelöli, amely külső szolgáltatótól is igénybe vehető. Az ábra továbbá bemutatja az importált (Pimp) és az exportált (Qexp) villamosenergia-áramot, amelyeket a külső kereskedőtől vásárolnak vagy számára többlettermelésként átadnak. Az energiaközösség felelősséget vállal a kiegyenlítetlenségért, és mérlegkörfelelősnek kell lennie, vagy szerződnie kell egy mérlegkörfelelőssel.

1. ábra. Energiaközösség elvi elrendezése



Forrás: Saját szerk.

Amennyiben valamely tag eltér a menetrendtől, az energiaközösség kiegyenlítőenergia-díjat fizet a kereskedő (mérlegkörfelelős) felé. A belső elszámolás során az eltérést okozó tag köteles megfizetni ezt a díjat, vagy az energiaközösség ösztönző módon megoszthatja ezt a költséget a tagok között. Azok a tagok, akik többletenergiát termelnek, megoszthatják azt egymás között. Ha az energia megosztása során az elosztóhálózatot veszik igénybe, akkor az elosztónak rendszerhasználati díj jár érte. Ez a struktúra biztosítja az energiahatékonyságot, az egyensúlyt és az ösztönzőket a tagoknak a felelős energiafelhasználásra, valamint a kiegyenlítetlenségek kezelésére.

## Elszámolás módozatai

Az energiaközösség működése szempontjából elengedhetetlen egy hatékony elszámolási modell kialakítása. Ez a modell magában foglalja a projekt tagjai (termelők és fogyasztók) közötti elszámolást, a megosztással értékesített villamos energia mennyiségével, valamint a kereskedőtől vételezett vagy oda kitáplált többlet villamosenergia-igény/termelés tekintetében, továbbá a kiegyenlítő-energia díjával kapcsolatos elszámolást.

A rendszernek automatikus elszámoló módszert kell alkalmaznia, amely az energiaközösség tagjaira egyesével kiszámítja a fogyasztott és hálózatra táplált villamosenergia mennyiségét. Az elszámolás során minden tagra vonatkozóan kiszámított villamosenergia-mennyiség összege a teljes energiaközösség által termelt, vételezett, vagy kereskedőtől vásárolt és kitáplált villamos energia előjelhelyes összegét alkotja. Ez az összeg szolgál alapul az energiaközösség tagjai közötti elszámoláshoz.

Az energiaközösséget úgy kell kialakítani, hogy a bevont okosmérők adataiból a havi aggregált előjelhelyes villamos energia mennyiségét minden tagra meghatározza. A számítási modellnek hiteles adatokat kell szolgáltatnia az elszámoláshoz, és alapját kell képeznie a tagok közötti számlázásnak. A termelt villamos energia elszámolása az energiaközösség tagjai között a jogi entitás alapító okiratában lefektetett elvek mentén történik, ahol előre meghatározottan történik a megosztás. Ez lehet egyenlő arányú megosztás, de lehetőség van előnyben részesített vagy hátrányos helyzetű tagok támogatására is, amelyeket a projekt előzetesen meghatároz.

## Megosztás módozatai

*Fogyasztásarányos megosztás:* Ebben a módszerben az egyes villamos fogyasztásmérőkből származó negyedórás adatokat összeadják, mind a fogyasztók, mind a termelők esetében. Az egyes fogyasztók részére a termelők által megosztott energia a saját fogyasztás/összes fogyasztás arányában oszlik szét.

*Lehetőségek:*

- I. Ha a megtermelt energia fedezni tudja az összes fogyasztást.
- II. Ha a megtermelt energia több, mint a fogyasztott energia, a többletenergiát az energiaközösség értékesítheti az energiakereskedő részére.
- III. Ha a megtermelt energia kevesebb, mint a fogyasztott energia, a különbözetet az energiakereskedőtől kell beszerezni. Ezt minden tag számára szükséges ismertté tenni, hogy látható legyen, mennyi energiát vásároltak a kereskedőtől.

*Beruházás arányában fix megosztás:* Ebben a módszerben minden fogyasztó és termelő esetén feltételezünk egy ismert befektetési összeget a termelőeszközök létesítésébe. Ennek alapján százalékos arányokat képezünk.

Szükséges az „arányossági tényező” kiszámolása minden negyedórás időintervallumra, ami az adott tag fogyasztásának és az összes fogyasztás hányadosa. Másik szükséges paraméter a „arányos vételezés a megtermelt energiából”, amely a korábbi módszerből már ismert. Kiszámításra kerül a „termelt áram beleadott tőke alapján felosztva”-paraméter, ahol az összes termelést elosztjuk a beruházott tőkével.

*Az elszámoláshoz három lehetséges forgatókönyv:*

- I. Ha a különbség 0, akkor a tagnak nincs szüksége energiavásárlásra vagy megosztásra más tagokkal.
- II. Ha a különbség pozitív, az adott tag megoszthatja a „fennmaradó” energiát a további tagokkal, de ez az energia drágább, mint a termelt energia. Az árat előre kell meghatározni az energiaközösség alapító okiratában.
- III. Ha a különbség negatív, az adott tagnak lehetősége van energiát vásárolni más tagtól, vagy ha nincs elérhető „fennmaradó” energia, akkor a kereskedőtől kell beszereznie.

*Priorizált megosztás:* Ebben a módszerben a különböző tagokat előre meghatározott prioritási sorrendbe helyezzük, például A, B, C. A megtermelt energia minden esetben az első tag, A, részére kerül megosztásra. Amennyiben az A tag által termelt energia kevesebb, mint az általa felhasznált energia, a különbözetet a tagnak és a többi tag számára a kereskedőtől kell beszerezni. Ha az A tag által termelt energia több, mint amennyit felhasznált, a „fennmaradó” energiát a második tag, B, fogja felhasználni. Ha a második tag, B, még mindig több energiát igényel, akkor a harmadik tag, C, fogja felhasználni, és így tovább. A prioritási sorrend végéig, amikor az összes tag szükséglete kielégítésre került, a maradék termelt energia értékesíthető a kereskedő felé.

A számítások rámutatnak az eddigiekben taglalt energiaközösség-modell egyik hibájára: még a megosztás esetén is jelentős mennyiségű import/export energia van a rendszerben. Vegyük például a következő esetet: egy energiaközösségben nem egy időben valósul meg a termelés és a fogyasztás. Ilyenkor az import energiáért ugyanúgy fizetni kell.

[7] E.ON, P1 port felhasználói tájékoztató.

## Okosközösség felépítése

Egy informatikai rendszer, az Okosközösség, nem más, mint egy okosotthon-megoldás kiterjesztése az egész energiaközösségre. Ezzel az egész energiaközösségen belül lehetőség van elegendő megtermelt energia esetén időzített fogyasztók és energiátárolók bekapcsolására, ezáltal minimalizálható az energiakereskedőtől vásárolt energia mennyisége.

A jelenleg forgalomban lévő, az áramszolgáltatók által használt villamos mérőórák, smart-fogyasztásmérők rendelkeznek úgynevezett P1 portos felhasználói interfész-aljzattal, mely egyirányú adatkommunikációt biztosít a végfelhasználók számára, ami azt jelenti, hogy csak kiolvasásra alkalmas, a bemeneti adatok fogadását nem teszi lehetővé (a vezetékezés nincs kiépítve). Ez egy olyan csatlakozási lehetőséget biztosít, melyen keresztül a felhasználók közvetlenül az elszámolási mérőből juthatnak hozzá a közel valós idejű mért adatokhoz. A hazánkban működő energiaszolgáltatók területén jelenleg az alábbi [7] fogyasztásmérők rendelkeznek P1 porttal:

- Sanxing SX601 és Sanxing SX631 egy- és háromfázisú mérők,
- Holley DDSD285 és Holley DTSD545 egy- és háromfázisú mérők,
- Sagemcom MA105 és Sagemcom MA304 egy- és háromfázisú mérők.

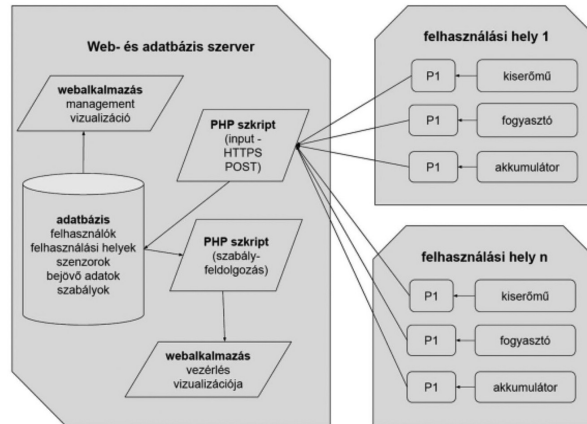
P1 porthoz való csatlakozás a fogyasztásmérő szekrényben: alapvetően a felhasználónak nincs bejelentési kötelezettsége, a galvanikusan leválasztott portra szabadon csatlakoztathat felhasználói interfészt. A fogyasztásmérő helyek túlnyomó részének esetében ez könnyedén meg is tud valósulni. Több olyan elektromos eszköz is van egy okosotthonban, ami integrálható az okosközösség rendszerébe.

Ilyenek például a minden napelemrendszer részét képező inverterek is, amik jó része ma már az otthoni wifi-hálózatra kapcsolódva azonnali adatokat képes szolgáltatni a megtermelt energia mennyiségéről, valamint a gyártó által biztosított szoftvertől függően a korábbi termelési adatokból is képes statisztikákat és grafikonokat előállítani.

Ezeket az eszközöket az okosotthon rendszerbe kapcsolva az általuk szolgáltatott adatok felhasználhatóak egy elszámoló szoftver adatbázisában.

A 2. ábrán látható, egyszerűsített rendszerterv alapján egy olyan alkalmazás váza látható mely a jelenleg működő közösségek elszámolását és működését támogatja.

2. ábra. IT-architektúra



Forrás: Saját szerk.

Az okosközösség fogyasztásmérőiből, termelő- és tárolóeszközeire telepített további IoT-eszközökből kiolvasott adatok HTTPS POST-adatküldés használatával egy értelmező PHP-szkript segítségével egy MySQL-adatbázisba kerülnek. Innen egy webalkalmazás segítségével kimutatásokat tudunk csinálni és Excelbe is tudjuk exportálni a historikus adatokat, valamint vizualizálni tudjuk őket.

## Következtetések

A decentralizált energiatermelés növekedése új kihívásokat és lehetőségeket teremt a hagyományos energiarendszerekkel szemben. Fontos kérdés, hogy miként kezelhetőek az energiahálózat stabilitását érintő problémák, amikor a megújuló energiaforrások aránya növekszik. A megújuló energiák változó termelési mintái és az energiátárolási technológiák fejlődése kulcsfontosságú tényezők a rendszer stabilitásának biztosításában.

Az okosotthonok és okosközösségek technológiai fejlődése jelentős hatást gyakorolhat az energiaellátásra. Az intelligens mérők, a napenergiatároló-rendszerek és a digitális platformok elősegítik az energiahatékonyságot és a felhasználók közötti energiamegosztást.

Ezen technológiák integrálása az energiarendszerekbe javíthatja a hálózat menedzsmentjét és a fenntartható energiahasználatot. A decentralizált energiatermelés társadalmi és gazdasági előnyei között szerepel a helyi gazdaságok erősítése és az energiafüggetlenség növelése. Ugyanakkor felvetődik a kérdés, hogy az energiaközösségek milyen módon befolyásolják a hagyományos energiaellátók szerepét és a piaci dinamikákat. Fontos megvizsgálni, hogy ezek a közösségek járulhatnak hozzá az energiaigazságossághoz és az energiahozzáférés egyenlőtlenségeinek csökkentéséhez.

Az energiaközösségek hozzájárulása a környezetvédelemhez és a fenntartható energiaellátáshoz kulcsfontosságú. A megújuló energiaforrásokra való átállás jelentős előrelépést jelenthet a szén-dioxid-kibocsátás csökkentése és a klímaváltozás hatásainak mérséklése terén. Egyúttal szükséges a fenntartható energia-gazdálkodást ösztönző politikák és támogatási rendszerek kialakítása.

Az energiaközösségek támogatása és szabályozása érdekében fontos a megfelelő szabályozási és politikai keretrendszer kialakítása. A kormányzati politikáknak és szabályozásoknak elő kell segíteniük a megújuló energiaforrásokba való beruházást, az energiaellátás decentralizációját, és támogatniuk kell a technológiai innovációt.

A nemzetközi példák és gyakorlatok tanulmányozása segíthet jobban megérteni az energiaközösségek kialakításának és működésének legjobb módszereit. Az egyes országokban alkalmazott különböző megközelítések összehasonlítása lehetőséget nyújthat a legjobb gyakorlatok megosztására és a globális tudásmegosztásra.

## Összefoglalás

A cikk az energiarendszerek evolúcióját és az energiaközösségek, valamint az Okosközösség koncepciójának egyre növekvő jelentőségét vizsgálja. A fókusz a decentralizált energiatermelésen és a megújuló energiaforrások, mint a nap- és szélenergia, használatának növekvő trendjén van. Bemutattuk az energiaközösségek kialakulását, az energia megosztásának és elszámolásának módozatait, valamint a technológiai fejlesztéseket, mint az okosotthonok és okosközösségek, amelyek hozzájárulnak az energiaellátás hatékonyságához és fenntarthatóságához. A cikk részletesen tárgyalja a decentralizált energiatermelés társadalmi és gazdasági előnyeit, beleértve a helyi gazdaságok támogatását és az energiafüggetlenség növelését. Emellett hangsúlyozza a környezetvédelmi szempontokat, kiemelve az energiaközösségek szerepét a fenntartható energiahasználat előmozdításában.

Összegzésképpen, a cikk átfogó képet nyújtott az energiaközösségek és az okosközösségek jelentőségéről a modern energiarendszerekben. Elemeztük a megújuló energiaforrások használatának növekvő trendjét, a technológiai fejlődést, valamint a társadalmi, gazdasági és környezetvédelmi hatásokat, amelyek az energiarendszer decentralizálását és fenntarthatóságát támogatják.

# Galéria

Németh István Péter fotói  
(Santuario di Monte Grisa)



