

2.4
2.5

Helyi villamosenergia-termelés: korszerű energiatárolás, helyben működő rendszerek

*Tárgyszavak: villamosenergia-termelés; helyi áramtermelés;
környezetkímélő technológia;
távol eső település; korszerű technológia;
optimalizáló gazdasági modell.*

A helyi villamosenergia-termelés vagy energiarendszerek (Distributed Generation – a továbbiakban DG) különféle formában már évek óta működnek szerte a világon, mivel a hagyományos felfogás, amely szerint az energiát központi vezérlésű, az állam által ellenőrzött hálózatokról kell biztosítani, mindinkább átadja helyét a technológiai, földrajzi és funkcionális szempontból egyaránt rendkívül eltérő, „ügyes” rendszerek által helyben előállított és csak rövid távolságra továbbított energiának. Az új DG-k egy részét a helyi önkormányzatok vagy azok szervezetei tartják ellenőrzés alatt, mások magánkézben vannak, vagy éppen vegyes finanszírozással (Public-Private Partnership – PPP) létesítik és/vagy üzemeltetik azokat.

A helyi áramtermelés számos fogalmi meghatározása közül érdekes a Kaliforniában 2000 és 2002 között bekövetkezett energiaellátási válsághelyzetet követően gyakran használt „helyben történő” (on-site) vagy épületek szintjén fenntartható áramtermelést kiemelni. A gyakorlatban általában a helyi energiaforrásokra támaszkodó DG megfelelő csatlakozási ponton keresztül illeszkedik egy körzeti áramellátó rendszerhez. Helyi energiaforrás fogalmán közös, körzeti távvezetékrendszerre csatlakozó, generátorokkal és tárolóegységekkel is ellátott villamosenergia-szolgáltató rendszer értendő. A körzeti áramellátó rendszer hozzáférhet az országos hálózatokhoz, elsőbbséget élvez a telek- és más tulajdonjogi határok átlépése szempontjából, tevékenysége a hatóság rendszeres felügyelete alatt áll.

Noha a helyi villamosenergia-termelést szolgáló rendszereket országos tervezési vagy energetikai rendszerekbe sehol sem integrálták, jelenleg számos kormány dolgozik ilyen szabályozáson. A kaliforniai válság és az USA-t ért 2001 szeptember 11.-i terrortámadás, nemkülönben az Északkelet-Amerikában és Kanada déli részén, illetve 2003 nyarán Európa-szerte előfordult áramkimaradások is arra utalnak, hogy több figyelmet kell fordítani ezekre a „rugalmas” rendszerekre, és a helyi erőforrásokra támaszkodó megbízható energiaellátásra.

Az energiaellátás különösen a mai, erősen „elektron-függő” ipari országok számára kritikus jelentőségű eleme az infrastruktúrának. A távol eső települések különösen jó példát szolgáltathatnak a helyi energia-rendszerek működésére, kitűnően szemléltetve azt, hogy miként tud egy megújuló energiaforrásokra és fejlett energiatárolási technikákra alapozott DG rendszer tisztán gazdaságossági alapon is versenyre kelni a központi hálózatokkal, miközben működése a környezetterhelés csökkentéséhez is jelentősen hozzájárul.

A tanulmány egy feltételezett, Alaszkában található faluban működő DG működési és gazdasági paramétereinek optimalizálási lehetőségeit vizsgálja, és a megfelelő jogi szabályozásra is javaslatot tesz. Kiindulási feltételként megújuló energiaforrásokat (pl. szél- vagy napenergiát) vesz számításba, miközben a *megújuló forrású energiatermelés nem folyamatos jellege* miatt a település megbízható ellátására megfelelő *energiatárolási rendszert* is alkalmaz. Az energiatárolás cseppfolyósított hidrogén vagy cink-levegő rendszerű tüzelőanyag-elemek segítségével történik. A néhány éve Alaszkában jellegzetesnek tekinthető, feltételezett falu viszonyai között egy olyan hibrid energetikai rendszer bizonyult a legjobb megoldásnak, amely mintegy 50%-kal csökkentené a helyi fűtőolaj-felhasználást, 30%-kal pedig a jelenleg működtetett dízelgenerátoros rendszer éves üzemeltetési költségeit. Ezek az adatok arra az esetre vonatkoznak, ha az alternatív helyi energiaforrások bevonásán felül energiatárolásra nem kerül sor. Megfelelő energiatároló rendszerek (pl. hidrogén vagy tüzelőanyag-elemek) üzembe állításával a fűtőolaj-fogyasztás és a költségszint jelentős mértékben tovább mérsékelhető – sőt, a tárolási paraméterek optimalizálásával a dízelgenerátorokra már csak biztonsági okokból van szükség. Természetesen a gáz- és fűtőolaj-felhasználás a településen nem küszöbölhető ki teljesen, mivel az eredeti felhasználás mintegy negyedrézére, kifejezetten fűtésre még szükség lesz.

Gazdasági megfontolások

A DG-rendszerek kutatásigényessége miatt célszerű felhívni a figyelmet arra, hogy az ipari vállalkozások keretében folyó K+F általában szűk területekre összpontosít, rövid távú tevékenységet jelent, míg a közepes, vagy hosszabb távú (legalább 2–5 évre szóló) kutatási programok az oktatási intézményeket és a mellettük működő kutatólaboratóriumokat jellemzik. Ebből kiindulva az USA hosszabb távú kutatási programjait főként állami forrásokból kell finanszírozni. Az Amerikai Kongresszus jelenlegi felfogása szerint a kormány környezetvédelmi politikáját megfelelő K+F programok formájában kell megvalósítani – mégpedig a magánszektorban, ahol a környezetvédelmi szabályozás feltételeit kielégítő technológiák és termékek kifejlesztésére kell elsődlegesen törekedni.

A környezetkímélő technológiák e megközelítés fényében abban térnek el a kutatás más témáitól, hogy gyakran hatósági döntések megvalósítását „szolgálják”. Az állam tehát szövetségi szabályozási eszközeivel megkövetelheti környezetkímélő technológiák kidolgozását, de ennek K+F terheit a magánszektorra, újabban pedig az egyes szövetségi államokra, regionális és helyi hatóságokra helyezi. Így a környezetkímélő technológiák ügyében az utóbbiak szerepe mind a szabályozás, mind pedig a finanszírozás tekintetében megnő.

A DG, mint a környezetkímélő technológiák egyik eleme, az USA-t 2001. szeptember 11-én ért terroristámadások nyomán nemzetbiztonsági szempontból is előtérbe került: e követelménynek egy, a jelenleginél kevésbé hálózatható vagy nem központi termelésre/elosztásra épülő modell tehet eleget. A téma egyik élenjáró államában, Kaliforniában a helyi Energia Bizottság (CEC) 2002-ben látott hozzá egy DG-rendszer stratégiai tervének felvázolásához az alábbi fő jellemvonásokkal: a felhasználók közelébe telepített villamosenergia-termelés; korlátozott méretű kapacitások; megfelelő hatósági eljárási szabályok és felügyelet.

A környezetkímélő technológiák és ezen belül a DG-rendszerek elterjedése a gazdasági fejlődés egyik lendítő elemének is tekinthető. Kaliforniában például 2002-ben a fenntartható fejlődés célkitűzéseivel is összhangban álló tüzelőanyag-elemek fejlesztésére és piacra vitelére életre hívták az ún. Állandó Tüzelőanyag-elem Együttműködést (CSFCC, California stationary fuel cell collaborative), máshol pedig a helyi önkormányzatok karoltak fel ilyen programokat iskolák és más középületek napkollektoros/fényelemes rendszerekkel megvalósított világítására/fűtésére. Mérföldkőnek számít a Kalifornia Állam által 2003-ban

első ízben kidolgozott és elfogadott Törvény a Környezeti Célkitűzések Politikáiról (Environment Goals Policy Report Bill), amelyben a fenntartható fejlődéssel foglalkozó fejezetben a DG és számos infrastruktúra, köztük a közlekedés, a víz- és a hulladékgazdálkodáshoz kapcsolódó fejlett technológiák is szerepelnek.

A távol eső települések helyzete

Alaszka távol fekvő településeinek többsége sajátos „gazdasági bíróságot” kénytelen fizetni az áramellátásért, mivel az áramfejlesztői elsődleges fűtőanyagként, tetemes szállítási költséggel odajuttatott fűtőolaj magas ára mellett azok kezelése során az elszivárgások és kiömlések, valamint a szerte hagyott üres hordók miatt jelentős környezetszennyezést is el kell viselniük – de hasonló helyzetben vannak a világ más részein található távoli lakott helyek is.

Pedig a helyben rendelkezésre álló megújuló energiaforrások (pl. víz-, szél-, nap- és geotermikus energia) költséges hálózatok létesítése nélkül, kezdetben hibrid (a fosszilis fűtőanyagot felhasználó aggregátorkal kombinált) rendszerekben, majd fokozatosan teljesen megújuló forrásokra támaszkodva is kielégíthetnék a helyiek igényeit. Mivel azonban a megújuló energiaforrások többnyire csak időszakonként állnak rendelkezésre, alkalmas formában tárolva (pl. elektrolízissel termelt hidrogén előállításával, majd későbbi elégetésével vagy tüzelőanyag-elemekben történő felhasználásával) az ellátás folyamatossága mellett annak biztonsága is garantálható.

Alaszka modellezett tengerparti falvai esetében egy kutatás 48 lakóházban 150 fővel számolt. Mivel – éghajlati okokból – a helyiségek fűtése és a vízmelegítés jelentős arányú a teljes energiafelhasználásban, a különféle berendezésekben keletkező hulladékhő hasznosítása mellett a megújuló forrásból előállított tárolt energia egy részét is erre a célra fordítják. A mintafalu villamos hálózatának paramétereit az *1. táblázat* tartalmazza. A modulrendszerű energiatermelés konkrét megoldásait illetően a kutatók a következő négy változatot vették figyelembe:

- *Alapeset csak dízelgenerátorokkal:* az alaszakai falvak többségében jelenleg is használt rendszerben az aggregátorok termelte áram mellett a fűtési igényeket részben a hulladék hő hasznosításával, részben pedig fűtőolajjal működtetett kazánokkal oldják meg. A hipotetikus falu erre a célra évente 250 000 liter, illetve fűtésre 135 000 liter olajat használ fel.

Egy távol eső falu villamos hálózatának jellemzői

A szélturbinák távolsága a falutól, km	10
A falu átlagos villamosenergia-igénye, kW	70
A falu 1 órás csúcsfogyasztása, kW	118
Átlagos szélesebesség, m/s	8
1 órás csúcs szélesebesség, m/s	35
Átlagos fűtési igény, kW	150
1 órás fűtési csúcsigény, kW	365
Az olajat tüzelő fűtőberendezés hatásfoka, %	80
A fűtésre hasznosítható hő aránya tüzelőanyag-elemek esetén, %	60
A tüzelőanyag-elemek hulladékhőjével kielégíthető fűtési igény aránya, %	50
A fűtésre hasznosítható hő aránya dízelgenerátoroknál, %	40
Az alapesetben hulladékhővel kielégíthető fűtési igény aránya, %	30
Dízelgenerátorok száma	3
A dízelgenerátorok maximális teljesítménye, kW	60
A dízelgenerátorok minimális teljesítménye, kW	24
Szélturbinák maximális villamos teljesítménye, kW	20
Maximális napsugárzás, kW/m ²	0,82
A fűtőolaj energiatartalma, kW/liter	9,51 (36)
A fűtőolaj ára, USD/liter	0,40–0,92 (1,50–3,50)
Kamatláb, %	0,0 és 8,0
Karbantartási költségek valorizálása, %	0,0 és 3,0
Fűtőanyagköltségek valorizálása, %	0,0 és 0,0

- *Szélkerekes – dízeles hibrid rendszer*, amelyben az átlagosan 70 kW-os (a napi 1 órás csúcsterhelés idején 118 kW-os) villamosenergia-szükségletet szélturbinák elégítik ki – az esetleges többlet villamos energiát fűtésre fordítják. Amennyiben a szélenergia nem elegendő, mind az áramellátást, mind a fűtést dízelaggregátorok veszik át.
- *Szélenergia hidrogén formájában tárolva – tüzelőanyag-elemek és dízel*: e kombinált rendszerben a szélturbinák mellett vízbontó készülék és a hidrogént alacsony nyomáson (4,1 MPa, 600 psi) komprimáló berendezés, a kereskedelemben beszerezhető foszforsavas tüzelőanyag-elemek és biztonsági dízelgenerátorok működnek. Bár rövidesen jobb paraméterekkel rendelkező, protoncserélő membrános (PEM) és szilárd oxiddal működő tüzelőanyag-elemek is elérhetőek lesznek, egyelőre csak hidrogénnel üzemelő cellákat vesznek itt figyelembe. A szélkerekek termelte esetleges áramfölsleget fűtésre vagy a víz elektrolitikus bontására használják fel. Ezután lépnek be az tüzelőanyag-elemek, majd

végső esetben a dízelaggregátorok is. Az energia tárolása hidrogén formájában jóval gazdaságosabb az akkumulátoroknál, és így nagyobb a tárolható mennyiség is. A hidrogénből megbízható tüzelőanyag-elemek fejlesztenek újra áramot – mindezt csupán 30%-os hatásfokkal, de ezen a hulladékhő fűtésre használásával jelentős mértékben lehet javítani. Mivel az tüzelőanyag-elemek gyakorlatilag zajtalanul működnek, a fűtendő helyiségek közelében is elhelyezhetők – így a másodlagos hőhasznosítás reális lehetőség, szemben a zajuk miatt csak távolabb működtethető dízelaggregátokban keletkező hulladékhővel, ami csak jelentős veszteséggel továbbítható nagy távolságra.

- *Szélenergia cinktabletták formájában tárolva, cink-levegő tüzelőanyag-elemek és dízel:* E rendszer hasonlít az előzőhöz, csak az energiát elektrolízissel előállított cinktabletták formájában tárolják, amelyekből később cink-levegő tüzelőanyag-elemek állítanak elő újra áramot. Bár ez utóbbiak hatásfoka csak körülbelül 60% (szemben az ólomakkumulátorok 70%-ával), a hulladékhő hasznosításával ez jelentős mértékben növelhető – nem beszélve arról, hogy nem okoz gondot hulladékkénti kezelésük és kisebb tömegük miatt szállításuk sem. Két éven belül várható fejlettebb formájukban a cink-levegő tüzelőanyag-elemek hatásfok tekintetében is felveszik majd a versenyt az ólomakkumulátorokkal.

Mivel a fényelemes napenergia-hasznosítás ma még drága, egyik változatnál sem számoltak ezzel a kiegészítéssel – noha az időközben e téren is felgyorsult műszaki fejlődés néhány éven belül Alaszka viszonyai között is versenyképessé teheti ezt a technológiát.

Mint az 1. táblázatból is kitűnik, az elemzés során abból indultak ki, hogy a dízelmotorok hulladékhőjének 40%-a hasznosítható – ekkora mennyiséget vesz fel a hűtővíz – a többi a kipufogórendszeren át távozik, és ezáltal elvész. Tüzelőanyag-elemek esetében viszont már a hulladékhő 60%-ának hasznosításával számolnak, de minden házba tüzelőanyag-elemeket telepítve ez az arány még tovább javítható.

Eredmények, következtetések

A helyi hálózatok működtetésében az energia tárolása kritikus jelentőségű – a választási lehetőségek következők:

- Első a fűtés: a megújuló forrásokból előállított villamosenergia-többséget a falu ellenállás-rendszerű készülékekkel megoldott vil-

lamos fűtésére fordítják. Amennyiben ezután is marad fölösleges villamos energia, ezt hidrogén vagy cink formájában tárolják.

- Első a tárolás: a megújuló forrásokból előállított villamosenergia-többletet hidrogén vagy cink formájában tárolják. Ha a tárolókapacitás megtelt, a fölösleget a házak fűtésére fordítják.

A *2/a. táblázat* a fűtés elsődlegességéből kiindulva a mintarendszer költségoptimalizálását mutatja 0,66 USD/liter fűtőolajár mellett és a költségek valorizálása nélkül, míg a *2/b. táblázatban* ugyanez 8%-os kamatláb és a karbantartási költségek 3%-os növekedése mellett, de továbbra is a fűtőolajköltségek valorizálása nélkül szerepel. Eszerint alapesetben a karbantartási költségek szerepe a döntő, amelyek többnyire a dízel-aggregátoroknál merülnek fel. A megújuló forrásokat is hasznosító változatok ezért a lehető legalacsonyabb szinten próbálják tartani a dízelkapacitást. Cink-levegős üzemanyagcellák esetében ez például csak biztonsági tartalékként szerepel. A szélenergia-berendezés – dízel rendszerben az utóbbi kapacitása harmada az alapénak, míg a fűtőanyag-felhasználás itt az alapeset felére csökken. Tekintettel a mérsékelt beruházási igényre és e rendszerek gyors megtérülésére, első lépésben a szélturbina alkalmazható, amelyet később megfelelő energiatároló rendszerrel egészíthetnek ki.

A hiteles helyi adatforrásokból, illetve az adott berendezések gyártóitól szerzett információk elemzésével és az alkalmazott megoldások optimalizálásával a kutatók a következő eredményeket kapták:

1. A dízelaggregátorokat szélturbinákkal kiegészítve (szélkerekes – dízeles hibrid) több mint 50%-os fűtőanyag-megtakarítás és 30%-ot meghaladó költségcsökkenés érhető el. Kellőképpen széljárta, távol eső települések számára ez a leggyorsabban megtérülő és a legkevesbé költséges megoldás. További előny, hogy a szélenergetikai kapacitást fokozatosan tovább bővítve további üzemeltetési és karbantartási megtakarítások érhetők el.
2. Amennyiben energiatároló egységeket (pl. hidrogén vagy cink) is beállítanak, az előbbinél jóval nagyobb fűtőanyag- és költségmegtakarítás érhető el – az energiatárolás optimalizálásával a dízelaggregátorok ki is iktathatók, de az eredeti fűtőanyag-mennyiség mintegy negyedére fűtéshez továbbra is szükség lesz.
3. Optimalizált hidrogénes energiatárolás esetén a szélturbina – dízel változathoz képest a költségek további 10–20%-kal mérsékelhetők.

2. táblázat

	Alapeset	Szélergia – dízel	Hidrogén kompri- málva	Cink – levegő
(a) Rendszerparaméterek optimális megoldásnál, 0,66 USD/liter fűtőolajár, kamat és valorizálás nélkül				
<i>Optimális rendszerparaméterek:</i>				
Teljesítmény szélergiából, kW	0,0	403	580	451
Energiatárolás, MWh	0,0	0,0	35,7	82,2
Elektrolízisre fordított teljesítmény, kW	0,0	0,0	358	287
Tüzelőanyag-elemek által termelt teljesítmény, kW	0,0	0,0	96,8	122
Napelemek által termelt teljesítmény, kW	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Éves fűtőolaj-felhasználás, ezer liter</i>				
Villamos energia termelésére	250	85,6	11,1	0,0
Fűtésre	135	78,1	78,9	95,9
Összesen	384	164	90,0	95,9
<i>Rendszerköltségek:</i>				
Tőke, E USD/a	13,4	66,5	130	91,4
Karbantartás, E USD/a	286	164	77,5	49,2
Fűtőanyag, E USD/a	253	108	59,5	63,3
Összesen, E USD/a	553	338	267	204
Megtérülési idő, a	–	4,0	5,84	3,68
(b) Rendszerparaméterek optimális megoldásnál, 0,66 USD/liter fűtőolaj ár, 8%-os kamat, a karbantartási költségek 3%-os növekedése mellett a fűtőanyag valorizálása nélkül				
<i>Optimális rendszerparaméterek:</i>				
Teljesítmény szélergiából, kW	0,0	351	538	446
Energiatárolás, MWh	0,0	0,0	22,3	47,6
Elektrolízisre fordított teljesítmény, kW	0,0	0,0	294	298
Tüzelőanyag-elemek termelte teljesítmény, kW	0,0	0,0	75,6	153
Napelemek termelte teljesítmény, kW	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Éves fűtőolaj-felhasználás, ezer liter</i>				
Villamos energia termelésére	250	90,6	24,0	6,55
Fűtésre	135	95,9	82,5	94,5
Összesen	384	187	106	101
<i>Rendszerköltségek:</i>				
Tőke, E USD/a	19,0	115	225	165
Karbantartás, E USD/a	386	224	123	78,0
Fűtőanyag, E USD/a	274	133	76,1	72,3
Összesen, E USD/a	679	472	424	315
Megtérülési idő, a	–	3,75	5,34	3,44

4. A cink-levegős tüzelőanyag-elemekre épülő technológia becsült költségadatai azt mutatják, hogy az energiatárolás nélküli szél-turbina – dízel változathoz képest a fűtőolaj akár 75%-a és a költségek 30-40%-a megtakarítható, ami ösztönzést adhat az új technológia elterjesztésére.
5. Az elemzésnél számos, Alaszka viszonyai között lényeges tényezőt nem is vettek figyelembe: a környezetterheléseket és a megfelelő szabályozást; a közvetlen ösztönzőket és az adókat; nemkülönben olyan, az adott település számára fontos tényezőket, mint a foglalkoztatás és az energiaellátás megbízhatósága.
6. További előnyök érhetőek el, ha az energiarendszer fejlesztésével egyidejűleg áttekintik az energiafelhasználás hatékonyságát, és erre támaszkodva keresletoldali intézkedéseket is tesznek. Az új energiarendszerek egyébként megfelelő oktatási és képzési programokat igényelnek, az itt szerzett tapasztalat később a nemzetközi piacon is értékesíthető.
7. Ugyanez érvényes más országok moduláris helyi energiarendszereire is, hiszen Alaszka mellett még hét ország él hasonló sarkvidéki éghajlati stb. feltételek között, és energiagazdálkodási adottságaik és igényeik is megfelelnek az ittenieknek. Az Alaszkában a jövőbeni gyakorlati megvalósítás során megszerzett tapasztalatokra alapuló új vállalkozások így exportpiacokat is szerezhetnének Alaszkának.

A tanulmányban vizsgált energiarendszereknek elég nagy kapacitásúaknak és megfelelő rugalmasságot lehetővé tevő módon moduláris felépítésűeknek kell lenniük ahhoz, hogy gazdasági és műszaki szempontból egyaránt bárhol alkalmazkodni tudjanak az adott távoli fekvésű település konkrét feltételeihez és igényeihez. Ahhoz azonban, hogy az új fejlesztések eredményei a kutatási fázisból nemzetközileg is piacképes terméké válhassanak, a tőke, a megfelelő pénzügyi feltételek rendelkezésre bocsátása alapvető jelentőségű. A kormánynak e téren is vannak teendői: a (kockázati) tőke rendelkezésre bocsátása mellett kapcsolatrendszerén keresztül is segítheti e technológiák piacképesé válását. Mindemellett aktívan, együttműködő partnerként léphetne fel az iparpolitikák alakításában, az állami részvétellel, illetve magánerejéből folytatott kutatási és fejlesztési tevékenységet ösztönző szabályozási feltételek kialakításában. Gondoljunk például a Kaliforniában a káros kibocsátás nélkül közlekedő gépkocsikra vonatkozóan életbe léptetett szabályozásra, a szövetségi vízminőségi törvényre, vagy éppen a környezetkímélő

technológiák elterjedését szolgáló rendelkezésekre – megannyi új ösztönzés és lendítő erő a környezeti problémák megoldására.

Összeállította: Balog Károly

- [1] Clark, W.; Isherwood, W.: Distributed generation: remote power systems with advanced storage technologies. = Energy Policy, 32. k. 14. sz. 2004. szept. p. 1573–1589.
- [2] California Energy Commission (CEC): California Distributed Energy Resources Guide. = <http://www.energy.ca.gov/distgen/index.html>