

Korényi Zoltán

## Megújuló energiát hasznosító erőművek komplex értékelése

**A megújuló energia hasznosítására jelenleg általánosságban két jelenség jellemző: az egyik a világszerte megállíthatatlannak tűnő terjedése, a másik a konkrét technológiák megvalósítását és működését kísérő, ellentmondásokkal terhelt viták. A cikk kísérletet tesz arra, hogy egy 9×5 elemből álló mátrix segítségével komplex értékelési rendszert állítson fel. Javasolja, hogy a különféle technológiák bevezetése előtt a döntéshozók 9 kritérium alapján, 5 érdekhordozó szempontjainak figyelembevételével végezzenek el komplex értékelést, majd elsődlegesen az állampolgárok és az ország érdekeit figyelembe véve hozzanak hosszú távra szóló döntéseket.**

### A cikk megírásának indítékai

A megújuló energiák (nap, szél, geotermia, vízenergia stb.) kihasználása egyre gyorsuló mértékben terjed szerte a világban. Európában Németország járt az élen, ahol ma új kihívást jelent az „Energiewende” (magyarul energiafordulat), a gyors ütemű elterjedés után kialakult új helyzet problémáinak a kezelése. A többi ország energetikusai, politikusai, a „zöldek” és a lakosság egyes körei is heves vitát folytatnak arról, hogy Németország intenzív szél- és naperőművi programja pozitív példának tekinthető-e, vagy a már bekövetkezett negatív hatásokra való tekintettel, éppen óvatosan kezelendő. Ez a bizonytalanság Magyarországon is jelen van. A közbeszédben, de többnyire a szakmai közéletben is meglehetősen leegyszerűsített pro és kontra érvek hangzanak el. Ebben nagy szerepe van a különböző lobbierdekeknek is. A kialakult zavaros összkép nem teszi lehetővé, hogy a megújuló energia hasznosításában a magán- és közszféra érdekeltjei a különféle technológiák társadalmi hasznosságáról tényszerű, objektív képet alkothassanak.

Ha valaki felteszi az egyszerű kérdést, hogy miért is jó a megújuló energia kihasználása, akkor többnyire három tipikus választ kap rá:

- azért, mert Földünkön így csökkenthető a CO<sub>2</sub> és a káros anyag kibocsátása, ezzel a klímaváltozás sebessége;
- azért, mert ezzel lassíthatjuk Földünk fosszilis energiakészleteinek a kimerülését;
- azért, mert az EU direktívái előírják. Magyarország jelenlegi vállalása: az éves energiafelhasználásban a megújulók aránya 2020-ra érje el a 14,65%-ot.

Kérdés, hogy ez a három szempont kellő alapot biztosít-e a hosszú távú döntések meghozatalához. A szerző álláspontja szerint nem. Akkor tehát mi a teendő? A szerző válasza: Ennek a komplex értékelési rendszernek a megteremtésére tesz javaslatot a jelen cikk, amely megvitatható, a javasolt rendszer tovább fejleszthető.

Olyan döntéshozatali eljárást kell kidolgozni és széles körben elfogadtatni, amely természettudományos alapokon, a gazdasági törvényszerűségek és a társadalom érdekeinek figyelembevételével határozza meg a vizsgálandó szempontokat, veszi számba a megvalósításban és üzemeltetésben érdekelt résztvevőket, majd elemzi, hogy az egyes szempontok az egyes résztvevőknek milyen pozitív és/vagy negatív hozadékot biztosítanak. A feltárt összkép alapján a döntéshozatalban az állampolgárok és az ország közvetlen és közvetett érdekeiből kell kiindulni.

### Az értékelő mátrix bemutatása

Célunk egy olyan értékelő keretrendszer bemutatása, amely szempontokat ad meg, és segítséget nyújthat a szóba jövő megoldások összehasonlításában.

1. táblázat. A megújuló energia-alapú erőművek értékelő mátrixa

SZEMPONTOK		ÉRDEKHORDOZÓK akiket közvetlenül vagy közvetetten érint				
		Fogyasztó	Gyártó	Befektető	Országunk	Földünk
(1)	Energiaátalakítási határfok		igen	igen	igen	igen
(2)	Energiamegtérülési tényező		igen		igen	igen
(3)	Rendelkezésre állás	igen	igen	igen	igen	
(4)	Költségek, árak	igen	igen	igen	igen	
(5)	Hazai hozzáadott érték, GNI	igen			igen	
(6)	Kivont földterület (ökológiai lábnyom)				igen	igen
(7)	Tartalék erőművek, tárolók szükségessége		igen	igen	igen	
(8)	A villamos hálózatra gyakorolt hatás		igen	igen	igen	
(9)	Egészség kockázatok (YOLL)	igen			igen	

A bevezető részben felvázolt elvek megvalósításának rendszerét az 1. táblázat foglalja össze. A szerző ennek a komplex értékelő rendszernek az első változatát 2016-ban egy konferencián [1] mutatta be. A táblázat a megújuló energiát hasznosító erőművek komplex értékelésére kilenc szempontot, és ötfajta érdekhordozót („stakeholder”) határoz meg. Hogy az egyes érdekhordozók számára mely szempontok fontosak, azt az „igen” mezők mutatják. Vannak szempontok, amelyeknél az „igen” kategória odaítélése (vagy oda nem ítélése) vita tárgyát képezheti. Ez a rendszer hozzájárulhat a megújuló energia hasznosítása folyamatainak átlátható, nyomon követhető kezeléséhez. Manapság sokan, sokféle módon érvelnek a megújuló alapú energiahasznosítás mellett, vagy ellene. A legnagyobb probléma, hogy a megszólalókról nem lehet tudni, hogy mely érdekhordozó csoport képviselői (lobbistái), vagy egyszerűen csak meggyőződéses természetvédők, vagy valamely technológia hívei, vagy politikai érdekek elkötelezettjei, vagy jó szándékú civilek, akik esetleg nincsenek birtokában a szükséges ismereteknek. Ez a rendszer, mint egy „check-lista”, leltárszerűen lehetővé teszi annak megállapítását, hogy egy adott technológiát minősítő érvek mögött alapos vizsgálatok, vagy pedig csak megalapozatlan, könnyelmű és felületes szövegek találhatók.

### Kik az érdekhordozók?

Jelen esetben érdekhordozóknak nevezzük azokat az egyéneket és közösségeket: gazdasági, pénzügyi szervezeteket, cégeket (befektetőket) és intézményeket; országokat és az ember létezésének egyik fő forrását biztosító Földünket (a másik a Nap), amelyek jövedelmi viszonyaiban vagy ökológiai rendszereiben a megújuló energia felhasználása változásokat hoz létre. Az 1. táblázat öt érdekhordozót határoz meg:

- A fogyasztók. Az ő számukra elsődleges fontosságú, hogy a tevékenységükhöz szükséges energia biztonságosan, a megkívánt minőségben és minél alacsonyabb áron álljon rendelkezésre.
- A berendezéseket gyártók. Abban érdekeltek, hogy termékeiket költséghatékonyan tudják előállítani, hogy azok versenyképesek legyenek a piacon, és egész életciklusukban megbízhatóan szolgálják a felhasználókat.
- A befektetők. Ők biztosítják a finanszírozási igény döntő részét. Céljuk, hogy befektetett tőkéjük minél kisebb kockázattal, minél előbb megtérüljön.
- Országunk, ahol élünk. E tekintetben egy ország érdeke állampolgárainak, gazdaságának és szervezeteinek biztonságos energiaellátása, az államháztartás pozitív pénzügyi mérlege és a hosszú távú létezés ökológiai feltételeinek a biztosítása.
- A Föld. Az emberi létezés energiaforrása a Nap, anyagi forrása a Föld. A biológiai létezéshez oxigén, víz és élelmiszer (ennek egyik előfeltétele a CO<sub>2</sub>), másodlagosan ruházat és lakás szükséges. Az emberiség növekedésre alapozott gazdálkodása, továbbá a népességnövekedés a Föld erőforrás készleteit rohamos mértékben emészti fel. Feladat: a megújuló energiaforrások oly módon történő hasznosítása, hogy az ember „ökológiai lábnyoma” lehetőleg ne növekedjen. Ehhez pedig nem elegendő a megújuló energiát hasznosító technológiák életciklusát a megépítéstől a lebontásig követni. Az „ökológiai lábnyom” meghatározásához a „kiterjesztett teljes életciklust” kell figyelembe venni, amely a bányanyitási

előkészítési munkáival kezdődik, majd a kibányászott anyagok szállításával, a kohászati technológiával, az alkatrészek, majd a berendezések gyártásával és helyszínreállításával folytatódik. Ezután következik az építési fázis, amelyet az üzembevetel, a több évtizedes üzemeltetés, végül pedig a lebontás követ, ami után megmarad még az ártalmatlanítás és a hulladékhasznosítás feladata. Ezt a folyamatot nevezzük „kiterjesztett teljes életciklusnak”.

Jelenleg szinte megoldhatatlannak tűnik az egyik oldalon az egyén-közösség-ország, a másik oldalon a Föld ökológiai megmaradása közötti szakadék áthidalása. A világ próbálkozik az egyetemes ökológiai rendszer megmentésével, de a gyakorlatban az egyes országok gazdasági érdekei általában erősebbek.

Ebben a globális rendszerben viszont az egyes állampolgárok létezésének alapja a piacképes hozzáadott érték termelése, amelyből jövedelme származik, amelyből adót fizet, amelyből az ország közössége az állam újraelosztási folyamatainak útján másodlagosan részesül. Az emberiség nagy kihívások előtt áll.

### A megújuló energia hasznosításának értékelő szempontjai

Az 1. táblázat függőleges oszlopában felsorolt értékelő szempontokat az alábbiakban részletezzük.

#### (1) Energiaátalakítási hatások

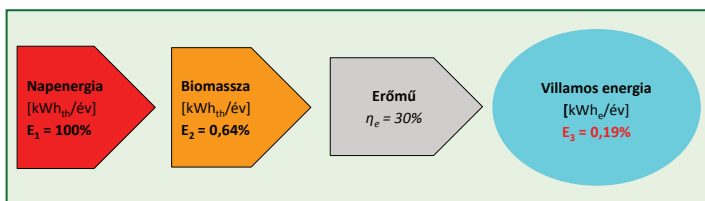
Az erőművek hatásfokát a nemzetközi „terminus technicus” szerint hagyományosan a megtermelt energia és az erőműbe bemenő energia hányadosaként adják meg. A jelenleg működő, megújuló energiát hasznosító erőművek szokásos hatásfokát a 2. táblázat mutatja.

2. táblázat. Megújuló energiát hasznosító erőművek hatásfoka

	Erőműfajta	Villamos hatásfok %	Megjegyzés
1.	Fotovillamos erőművek	10-30	
2.	Szélenergiaerőművek	10-30	a szél kinetikus energiájára vonatkoztatva
3.	Vízenergiaerőművek	80-90	
4.	Geotermikus erőművek	5-15	a bemenő termálvíz hőtartalmára vonatkoztatva
5.	Biomassza-tüzelésű gőzerőművek	20-30	az eltüzelte biomassza hőtartalmára vonatkoztatva

Ha a biomassza erőművek villamos hatásfokát nem a bemenő biomassza hőtartalmához, hanem az azt létrehozó napenergiához viszonyítjuk, akkor abból érdekes számok születnek. A napenergia fotoszintézis útján épül be a növényekbe, amelyeknek kazánokban történő eltüzelésével gőz keletkezik. A gőz turbinát, az pedig generátort megforgatva áramot termel. Ennek a folyamatnak az energetikai átalakulását mutatja példaképpen az 1. ábra. A példa magyarországi napsugárzását figyelembe vevő energia-mérlege:

- a rendelkezésre álló napenergia éves mennyisége: 1300 kWh/m<sup>2</sup>, év; vagy: 13 000 MWh/ha, év (hazai átlag);



1. ábra. A napenergia fotoszintézis útján történő energetikai hasznosítása

- a termelt, közepes hozamú energianövény hőenergia-tartalma: 300 GJ/ha, év (83,333 MWh/ha, év);
- az erőműben megtermelt villamos energia: 25 MWh/ha, év.

Az 1. ábra szerinti példában tehát a fotoszintézis útján történő biomassza (pl. energiafű) alapú villamosenergia-termelés napenergiára vonatkoztatott hatásfoka: 0,19%. Ez rendkívül alacsony, ezért megfontolandó, hogy szabad-e az évmilliók során létrejött humusz-kincsünket intenzív energiatermelést szolgáló növénytermesztésre pazarolni. A szerző állásfoglalása:

**A termőföld nem energiatermelő forrás! Feladata: élelmi szertermelés. Használjunk helyette biomassza hulladékok!**

A hatásfok témája az érdekhordozók közül (1. táblázat) fontos a műszaki fejlesztést végző gyártó számára, a befektetőnek a megtérülés szempontjából, az országnak az energia- és pénzügyi mérleg, valamint a környezetterhelés szempontjából, a Földnek pedig a természetterhelése szempontjából.

**(2) Energiamegtérülési tényező és energiamegtérülési idő**

Az energiamegtérülési tényező ( $e_M$ ) az a szám, amely megmutatja, hogy az erőmű a teljes üzemideje alatt, a végső leállításáig hány-szor annyi villamos energiát ad ki, mint amennyit a kiterjesztett teljes életciklusa alatt elfogyaszt (a bányától a kohón, a gyártáson, a megépítésen át a lebontásig), amelyben benne van a tüzelőanyagok szállítása, az üzemeltetés és karbantartás energiafogyasztása is. Nincs benne a felhasznált tüzelőanyag hőtartalma!

Angol nyelvű elnevezése: Energy Return on Energy Invested (EROI). Német nyelvű elnevezése: Erntefaktor ( $\epsilon$ ).

$$e_M = \frac{\text{Kumulált Energia Kiadás (KEKi)}}{\text{Kumulált Energia Befektetés (KEBe)}}$$

$$KEBe = E_{\text{berendezések}} + E_{\text{tűanyagbiztosítás}} + E_{\text{O\&M}} + E_{\text{lebontás}}$$

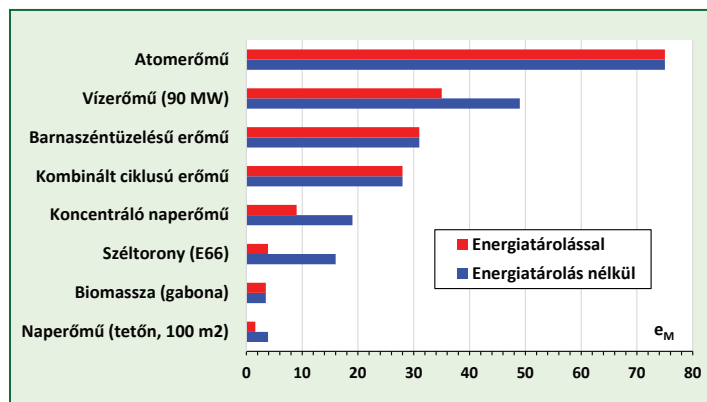
Az energiamegtérülési idő ( $\tau_M$ ) az a szám, amely megmutatja, hogy az erőmű mennyi idő alatt adja ki a hálózatra azt a villamosenergia-mennyiséget, amelyet a kiterjesztett teljes életciklusa alatt elhasznál.

Angol nyelvű elnevezése: Energy Payback Time (EPBT). Német nyelvű elnevezése: Amortisationszeit ( $T_a$ ).

A németországi nagymértékű szél- és naperőművi beruházások a megújuló energiahasznosításra vonatkozó kutatásokat is felfuttatták. A 3. táblázatban több szerző [2, 3, 4] kutatásainak eredményeiből látható egy összefoglalás. A szerzők a táblázat eredményeit a megnevezett referencia-erőművekre számították ki úgy, hogy a gyakorlatban használatos fajlagos számok felhasználásával végeztek számításokat (pl. az acél- vagy réztömeg olvasztáshoz szükséges villamosenergia-mennyiséget a statisztikai indikátorok felhasználásával).

Mivel a táblázat számaihoz konkrét alapadatok tartoznak (pl. hatásfokok, üzemidők stb.), ezért általános érvényű következtetések levonására csak korlátozott mértékben alkalmasak.

Weißbach és társainak [2, 3, 4] a vizsgálati eredményeit mutatja be grafikusán (a szerző feldolgozásában) a 2. ábra energiátárolás nélküli és energiátárolással (akkumulátor) rendelkező esetre. Miután az ábra számai mögött konkrét erőművek állnak, ezért nem annyira az abszolút számok az érdekesek, hanem a tendenciák, az



2. ábra. Erőművek energiamegtérülési tényezői

3. táblázat. Energiamegtérülési tényezők és energiamegtérülési idők

Erőmű	Energiamegtérülési tényező	Energiamegtérülési idő	Referencia erőmű paraméterei		
			Teljesítmény	Kihasználás	Élettartam
1. Atomerőmű	75	2	1340	8000	60
2. Vízerőmű (folyami)	49	24	90	3000	100
3. Barnaszén-erőmű (külszíni fejtéssel)	31	2	500	7500	50
4. Kombinált ciklusú erőmű	28	0,3	820	7500	35
5. Szélterőmű (szárazföldi)	16	14	1,5*	2000	20
6. Fotovillamos erőmű (tető, 100 m <sup>2</sup> )*	4	71	1350	1000	25
7. Biomassza erőmű (kukorica 55 t/h)	3,5	-			

\* A fotovillamos erőmű esetében a „Teljesítmény” oszlop adata 1350 MWh/a

egymáshoz képest való arányok. Az energetikai szakmában közismert, hogy a nap- és szélerőművek által befogott primer energiának alacsony a teljesítménysűrűsége ( $W/m^2$ ), emiatt a hagyományos erőművekkel szemben energiamegtérülésük kedvezőtlenebb. Ennek oka az egységnyi teljesítményre vonatkoztatott viszonylag magas anyagigény (acél, színes fém, üveg, műanyag, beton, kadmium, tellúr stb.). Az üzemidő végén következik még az ugyancsak energiát igénylő lebontás, a hulladékhasznosítás és hulladékártalmatlanítás. A mérleg másik serpenyőjében természetesen megjelenik az az előny, hogy a termelt villamos energia közvetlenül nem igényel primer energiát, amelynek eltüzelése szennyezőanyag- és  $CO_2$ -kibocsátással jár.

Az energiamegtérülési tényező leginkább az ökológiai lábnyommal hozható kapcsolatba, ezért az érdekhordozók közül (1. táblázat) főleg a társadalmi-közösségi érdekek dominálnak.

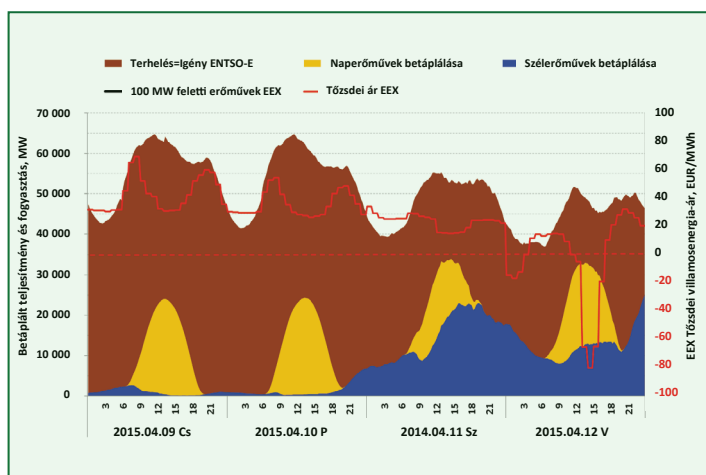
### Rendelkezésre állás

A villamosenergia-ellátás különleges fontosságú követelménye a megbízhatóság, a rendelkezésre állás. A nem időjárásfüggőnek tekinthető technológiáknál (biomassza, geotermikus) ez tervezhető. Az időjárásfüggő technológiáknál (nap, szél, kisebb mértékben a víz is) a rendelkezésre állás jelenleg óriási megbízhatósági és műszaki-üzemeltetési problémákat jelent.

Közismert, hogy az időjárás nem ritkán hoz többnapos szélcsendes időszakokat. A napsugárzás a napszakoktól függően még inkább változékony.

Példaként a 3. ábra bemutat egy németországi tavaszi háromnapos időszakot [8]. A barna színű diagram az országos teljesítményigény változását mutatja, amely nagyjából 35 ezer és 65 ezer MW közötti tartományban mozgott. A sárga, hegyformájú diagramok a naperőművek, a kék színűek pedig a szélerőművek hálózatba betáplált teljesítményeit mutatják. E két időjárásfüggő technológia a 80 ezer MW beépített összteljesítményéből ez alatt a három nap alatt nagyjából zéró és 55 ezer MW közötti változó teljesítménnyel tudott a hálózatba termelni.

Megállapítható, hogy az ellátás biztonsága, a tervezhetőség szempontjából e két időjárásfüggő villamosenergia-termelő technológia rendelkezésre állási tényezőjét nagyon nehezen tudja a mérlegkörü felelős vagy a rendszerirányító a menetrendkészítéshez felhasználni.



3. ábra. A német villamosenergia-rendszer teljesítmény-viszonyai 2015. április 9-12. között, negyedórás felbontásban [8]

A rendelkezésre állás elsősorban technológiai és gazdasági kategória, ezért az érdekhordozók közül (1. táblázat) a Föld számára közvetlenül nem releváns.

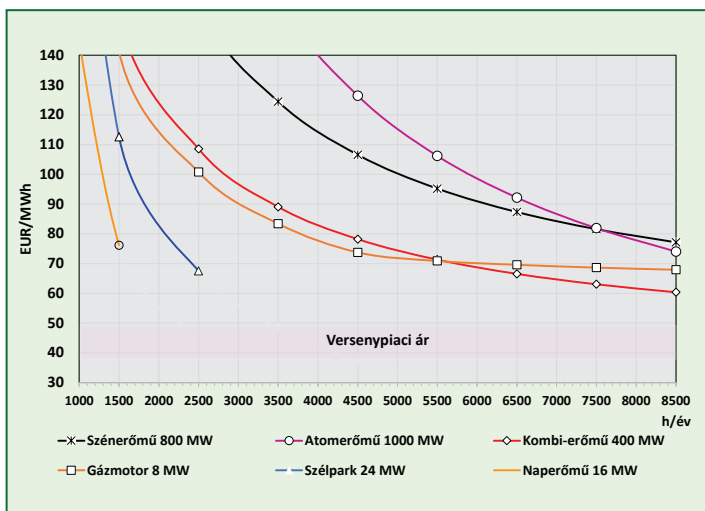
### (3) Költségek és villamosenergia-árak

A villamos energia éves költségeit a beruházási költségeket visszatermelő tőkeköltések (amortizáció + kamatok), a primer energia ára, a  $CO_2$  ára, az üzemeltetés és karbantartás (O&M) költségei, továbbá az adók adják. Az éves költségek állandó és változó részből állnak. A változó költségek legnagyobb részét a tüzelőanyag-árak adják. A 4. ábra a szerző számításainak az eredményeit mutatja be példaszerűen. Az egyszerűsített annuitásos számítások „zöldmezős” fiktív erőművekre készültek, az utóbbi évekre jellemző beruházási költségek és árak figyelembevételével [5]. A 4. ábra informatív célzattal, a csúcskihasználási óraszámok függvényében mutatja be a villamosenergia-egységköltségeket.

A diagramból az utóbbi évekre jellemző két nagyon lényeges tény állapítható meg: az egyik az, hogy az új erőművek megtérüléséhez legalább 70-80 EUR/MWh villamosenergia-árra lenne szükség. A másik pedig az, hogy a versenypiaci nagykereskedői (tőzsdei) árak jellemzően 35-50 EUR/MWh tartományban mozogtak. Tehát a piaci árak nem képesek új erőmű beruházásokat finanszírozni. Ez az oka annak, hogy Európában jelenleg alig épülnek erőművek.

Mi vezetett ehhez az ellentmondásos helyzethez Európában? A helyzet megértéséhez érdemes itt egy kis kitérőt tenni. A válasz megadásához célszerű a piac ősi kereslet (fogyasztás)/kínálat (erőművi termelés) egyensúlyából kiindulni. Ez az egyensúly borult fel Európában jó néhány éve. Mik ennek az okai?

- A 2008. évi pénzügyi válság a gazdaság visszaesését hozta, amely a villamosenergia-fogyasztást nagymértékben csökkentette. Európa még napjainkig sem lábalt ki ebből a gazdasági válságból.
- Az ellátásbiztonságra tervezett korábbi nagy beépített kapacitások miatt a termelői oldalon erőteljes túlkínálati helyzet állt elő.
- Az új, nemzetközi klímapolitika az energiafogyasztás csökkentését, a fosszilis primer energia felhasználásának a visszaszorítását (ezzel a  $CO_2$ -kibocsátás csökkentését) és a megújuló energia hasznosításának gyorsított bevezetését tűzte ki a zászlójára.
- A 4. ábrából látható, hogy a szél- és naperőművek egységköltségei sokkal magasabbak, mint a versenypiaci árak. Ahhoz, hogy meginduljanak a megújuló alapú erőművi beruházások, az egyes országok erőteljes támogatási rendszereket vezettek be.
- A támogatási rendszerek, kivételezett előnyt biztosítva az időjárásfüggő szél- és naperőműveknek, azokat támogatott árakkal védett állapotba hozva, kivonva őket az árverseny hatálya alól, felborították az önmagát kiegyensúlyozni képes villamosenergia-piacot.
- A megújulók belépésével csökkent a szabadpiaci szegmens, ezzel a termelői kapacitások túlkínálata még jobban megnőtt. Európában jelenleg kb. 1100 GW erőműkapacitás van beépítve, míg a csúcsigény 500 GW alatt marad.
- A lecsökkent szabadpiaci igény, a megnövekedett erőművi túlkínálat az árak drasztikus zuhanását eredményezte. A hagyományos erőművek közül csak azok tudnak piacra lépni, amelyek olcsó tüzelőanyagot (szén, nukleáris) használnak,



4. ábra. Villamosenergia-költségek új beruházások esetén

amelyeknek már nincs amortizációs költségük, amelyek felújítások nélkül az „utolsó zsírjukat” élik fel. Sokan hívják ezt „roncsra járatásnak”.

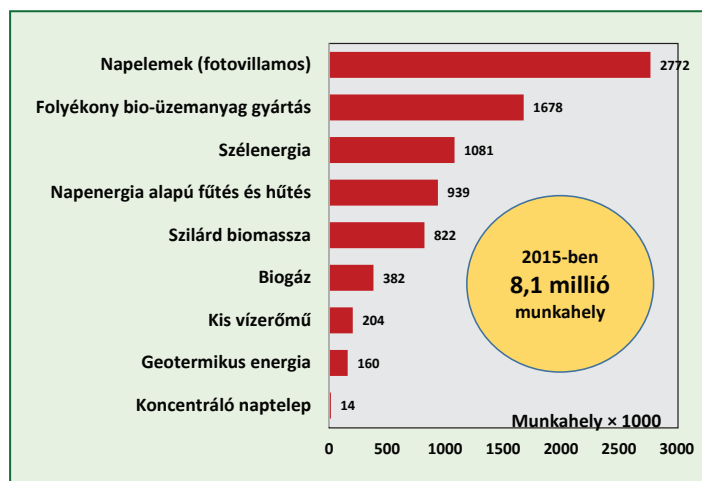
- A helyzet abszurdítására jellemző, hogy előfordulnak olyan rövidebb időszakok, amikor az erőművek fizetnek azért, hogy a kereskedők elvigyék a megtermelt (pl. éjszakai) villamos energiát (lásd a 3. ábrát). Ezzel tudják elkerülni az erőmű leállítását, amely nagyobb veszteséget okozna, mint a negatív árak.

Ez a jelenlegi torz helyzet várhatóan változni fog, mert egyrészt az EU szabályozási rendszere célul tűzte ki a támogatások kivételét, másrészt a megújuló energiát hasznosító technológia költségei a darabszám és a technológia fejlődésével csökkennek, harmadrészt a „roncsra járatás” után egyre több erőművet fognak leállítani, és végül negyedrészt várhatóan a gazdaságok bővülése fogyasztásnövekedést is magával hoz.

Az érdekhordozók közül (1. táblázat) a fogyasztók az alacsony energiaárban, a gyártók a magas berendezésárban, a befektetők alacsony berendezésárban és magas energiaárban, az ország (az állam) az állampolgárok képviselőjében az alacsony árban, egyébként magas adókban (vagyis magas árban) érdekeltek.

#### (4) Hazai hozzáadott érték és Bruttó Nemzeti Jövedelem/ Gross National Income (GNI)

Egy önálló költségvetéssel rendelkező országban a társadalom létezésének alapját a polgárai által előállított hozzáadott érték biztosítja. Ha magas a foglalkoztatási ráta, ha a munkaerő magas színvonalú termékeket állít elő, akkor a jövedelmek is magasabbak. Ebből származnak az adók, annak a fölőlegéből keletkeznek a megtakarítások, amelyeket a bankok növekedési beruházásokra tudnak fordítani. Ha a saját országunkban előállított termékek exportra kerülnek, akkor országunk pénzügyi mérlegének a külföldi vásárlók is gyarapítói lesznek. Ez fordítva is igaz. A hazai befektetők külföldi vállalkozásainak hozama és esetleg adói is országunk pénzügyi mérlegét gyarapítják (visszaélést nem feltételezve). Ez is igaz fordítva. Ennek a működési rendszernek az energetika is részese [6], vagyis képes az ország pénzállományát gyarapítani vagy csökkenteni.



5. ábra. Munkahelyek száma a megújuló energia-iparban, technológiánként [7]

A hozzáadott érték az emberek biológiai létezésének és a társadalmi szervezet működtetésének a forrása. Ebből az evidenciából kiindulva megfogalmazható: létezésünk alapfeltétele az ország pozitív pénzügyi mérlege.

#### A munkahelyteremtés és a megújuló energiahasznosítás kapcsolata

Ha figyelemmel kísérjük a híradások háttereit és a nemzetközi szervezetek beszámolóit – pl. IRENA [7] –, akkor egyértelművé válik, hogy a megújuló energia hasznosításában élenjáró országokban a politika elsőrendű célja, hogy – a természetvédelmi célok alapulvétele mellett – az új technológia munkahelyeket teremtsen. Az új termékek kutatása, kifejlesztése, tervezése, gyártása, az erőművek felépítése, üzemeltetése, karbantartása, továbbá a pótalkatrészek szállítása és szolgáltatások nyújtása mind-mind új hozzáadott érték forrása. A technológiai előny exportot is biztosít az adott ország számára. Az élenjáró országok pénzügyi mérlegét tehát a hazai vásárlókon kívül a külföldi országok vásárlói is gyarapítják.

Jelenleg a megújuló energia szektor a világban közvetlenül és közvetve 8,1 millió embert foglalkoztat [7]. Első helyen áll a napenergia, második a folyékony bioüzemanyag előállítás, harmadik a szélenergia, negyedik a napenergia-alapú fűtés és hűtés, ötödik a szilárd biomassza (lásd 5. ábra).

Bizton kijelenthető: az ésszerű gazdaságpolitikát folytató országokban a megújuló energia ipar a munkahelyteremtés egyik fontos eszköze lett. Érthető okokból azonban kifelé nem ez áll a kommunikáció középpontjában, hanem a mindenki számára érthető és szimpatikus természetvédelem (káros anyag- és CO<sub>2</sub>-kibocsátás, fosszilis energia megtakarítása stb.) témáját hirdetik. Németország például jelenleg a leggyártott szélenergia-erőműveinek 2/3-át exportálja, tehát a cégek munkahelyeinek nagyobb részét külföldi vásárlók tartják fenn.

Munkahelyek száma a megújuló energiaiparban, országok szerinti bontásban:

- Németország: 355 ezer fő (ebből szélenergia: 150 ezer fő);
- Franciaország: 170 ezer fő
- EU többi: 644 ezer fő (Európa összesen: kb. 1,2 millió munkahely)
- USA: 770 ezer fő



## A Bruttó Nemzeti Jövedelem (GNI) és az energetika kapcsolata

Definíciószerűen a GDP (bruttó hazai termék) az egy év alatt előállított javak és szolgáltatások összege.  $GDP = \text{hozzáadott érték} + \text{termékdadó}$ . A GNI (bruttó nemzeti jövedelem) nem más, mint a GDP, módosítva a külföldről kapott és külföldre kifizetett elsődleges jövedelmekkel (osztalék, kamat, munkabér, földjáraadék).  $GNI = GDP + \text{külföldről érkező jövedelem} - \text{külföldre távozó jövedelem}$ .

Összefoglalva: az ország érdeke, hogy a GNI nagyobb legyen, mint a GDP, mert ez esetben a bejövő pénzáram nagyobb, mint a kimenő. Németországban ez a mérleg pozitív, Magyarországon negatív. A nemzeti gazdaságpolitika célja, hogy  $GNI > GDP$  viszony jöjjön létre. Az energetikában is érvényesíteni kell ezt az elvet, mind az energiaszolgáltatásban, mind az energetikai eszközök gyártásában, mind az energetikai szolgáltatásokban. A  $GNI > GDP$  viszony eléréséhez az járul hozzá, ha csökkentjük az energiafelhasználást, a gázimportot, az eszközök és szolgáltatások importját, illetve ha növeljük a hazai eredetű tüzelőanyag-felhasználást, a hazai eszközök gyártását, a hazai szolgáltatások alkalmazását, a hazai tulajdoni arányt, a hazai tulajdonú bankokból történő finanszírozást, valamint exportra értékesítjük a hazai termékeinket.

Ami a támogatott átvételi árakat illeti, eléggé nyilvánvaló, hogy két leegyszerűsített, fiktív esetről lehet beszélni. Az egyik esetben a létesítményt egy hazai befektető, hazai gyártású berendezések felhasználásával, hazai szakemberekkel, hazai tulajdonú banki finanszírozással építi meg. Ebben az esetben a megemelt, támogatott árból származó bevételek az országban maradnak, munkahelyeket tartanak fenn, az extra pénzek itthon működnek, tehát nincs semmi probléma a támogatással (ez a német modell). A másik esetben ugyanezt egy külföldi befektető, külföldön gyártott berendezésekkel, külföldi szakemberekkel, külföldi bankok finanszírozásával valósítja meg. Ebben az esetben a támogatott extra árból származó bevételek kimennek az országból. A GDP nő, de a GNI csökken (ez tendenciaszerűen egy jellemző magyar modell). Természetesen a fent leírtak elvi irányok, a gyakorlati esetek árnyaltabbak. Konkrét esetekben konkrét vizsgálatokat kell elvégezni.

A fenti elvekkkel ellentétes jelenségek bemutatására álljon itt két hazai példa:

### A) A hazai szélerőművek hatása az ország pénzügyi mérlegére

Kérdés: a támogatott áron (2016-ban: 34,34 Ft/kWh) történő kötelező villamosenergia-átvétel jó-e az országnak? Válaszként induljunk ki abból, hogy Magyarországon a kötelező átvételi rendszerben 300 MW beépített kapacitás 600 GWh/év villamos energiát ad ki a hálózatra. Élünk azzal a fiktív feltételezéssel, hogy ezt a szélparkkapacitást egy esztendőre hirtelen kikapcsoljuk a termelésből. Ez esetben hiányozni fog 600 GWh/év villamos energia, azt máshonnan kell beszerezni. A mai körülmények között eléggé nyilvánvaló, hogy ezt a hiányt importból fogjuk fedezni. Legyen az importáram ára 12 Ft/kWh, ezzel a helyettesítő import országos szinten  $20,6 \cdot 7,2 = 13,4$  milliárd Ft költségmegtakarítást hozna. Tehát a hazai fogyasztók az ártámogatott szélerőművek miatt 13,4 milliárd forinttal többet fizetnek ki a villamos energiáért, mintha nem lennének szélerőművek. Kérdés, hogy a hazai fogyasztók többlet-kifizetései az országban maradnak-e, vagy kimennek az országból? Ismereteink szerint többségében ez utóbbi eset áll fent, vagyis ez az összeg hiányozni fog az ország pénzügyi mérlegéből. Természetesen a helyzetet árnyalhatják még egyéb tényezők is.

### B) Villamosenergia-importunk hatása az ország pénzügyi mérlegére

Az utóbbi esztendőben a villamosenergia-importunk nagysága kb. 14 TWh/év. Mekkora összeget kell ezért az országból kiáramoltatni?

Az éves kifizetés nagysága (12 Ft/kWh-val számolva) 168 milliárd Ft. (Összehasonlításként: ez megfelel a magyar felsőoktatás személyi juttatásainak.) Az importenergia alacsony ára előnyös a fogyasztóknak, kedvező a termelőegységeknek (főleg ha ezek exportőrök), és előnyös, ha csökkenti a gázimportot. Ugyanakkor hátrányos is, mert kiszorítja a piacról a hazai erőműveket, csökkentve ezzel a hazai jövedelmeket, a felújításokat, a beszállítói igényeket, megnövelve a munkahelyi elbocsátásokat. Az ország érdeke, hogy a komplex jelenségek eredőjeként a végső pénzügyi mérlegünk pozitív legyen.

A fenti GNI szemléletű értékelés célja, hogy segítsen a szemléletformálásban, módszertani támpontot adjon annak megítéléséhez, hogy országunk számára mi tekinthető hasznosnak, és mi nem.

Az 1. táblázat érdekhordozóit tekintve egyértelmű, hogy az ország érdeke a Bruttó Nemzeti Jövedelem (GNI) növelése. Ezzel egybeesik a hazai tulajdonú gyártók, szolgáltatók és befektetők, továbbá a fogyasztók érdekeivel is. Ez a megállapítás nem feltétlenül igaz a külföldi tulajdonú piaci résztvevőkre, ebben a tekintetben jelentkezhettek kibékíthetetlen érdekellentétek is. Itt most elvi megfontolások kerültek szóba. Természetesen nem lehet figyelmen kívül hagyni Magyarország történelmi múltjából származó hátrányos helyzetét, az adottságokat és a nemzetközi kötıtségeket. Konkrét esetekben az érdekeket számításokkal kell alátámasztani, értékelni kell a reális lehetőségeket, és nyer-nyer alapú szerződéseket kötni.

### (5) Kivont földterületek – ökológiai lábnyom

Az ember által megépített mesterséges objektumok a Föld felszínének egy részét kivonják a megművelt földterületek állományából, vagy a művelés alatt nem álló természeti környezetből. A talaj a bioszféra része, hosszú időn át kialakult természeti képződmény. A talaj a földi élet alapja, a földi élet egyik hordozója.

A talajból kiinduló élőlánc legfontosabb elemei: a humusz a mikroorganizmusokkal, a sokféle apró élőlényel; a talaj-hidrológia; a fotoszintézis segítségével létrejövő növények, a rovarok, a

4. táblázat. Erőművek közvetlen helyigénye és a kiterjesztett életciklus helyfoglalása,  $m^2/MW_e$

	Erőmű fajtája	Erőmű helyigénye	Kiterjesztett teljes életciklusra
1.	Kombinált ciklusú erőmű (földgáztüzelés)	150	5 000
2.	Feketeszen-tüzelésű gőzkörfolyamatú erőmű	250	30 000
3.	Atomerőmű	280	20 000
4.	Szárazföldi szélpark	2 000	50 000
5.	Naperőmű (8-30 ha mezőn)	8 000-15 000	100 000-300 000
6.	Biomassza erőmű (fatüzeléssel)	300	3 000 000
7.	Biomassza erőmű (silókukorica + gázmotor)	5 000	2 000 000
8.	Geotermikus erőmű (ORC)	1 300	10 000

madarak, az állatok és az ember. A talaj kölcsönhatásban áll a légkörrel és a víz körforgásával.

Amikor energetikai objektumokat építünk, akkor Földünk egy részét hosszú évtizedekre kivonjuk a természetből. Ennek becslét, tájékoztató jellegű értékeit foglalja össze a 4. táblázat. A kivont területek két kategóriáját különböztetjük meg:

- az egyik az erőmű megépítéséhez szükséges, közvetlenül elfoglalt terület;
- a másik figyelembe veszi a kiterjesztett teljes életciklus teljes láncolatához (a bányafeltárástól a létesítmény lebontásáig és ártalmatlanításig terjedő) szükséges kivont földterületeket.

A táblázat megerősíti a korábbi fejezetekben leírtakat. A naperőművek a napsugárzás alacsony teljesítménysűrűsége és a napelemek alacsony hatásfoka miatt feltűnően nagy területeket igényelnek. A foszintézis-alapú biomassza-tüzelésű erőműveknek a kirívóan alacsony energetikai hatásfokuk miatt óriási a kiterjesztett teljes életciklusra vonatkoztatott területfoglalásuk.

Ami az 1. táblázat érdekhordozóit illeti, a természetből kivont területek leginkább országos szinten érzékelhetők, hiszen a lakó- és élőhelyünket érintik közvetlenül. Természetesen fontos odafigyelni a földi dimenzióban végbemenő változásokra is, mert a civilizációnk komoly veszélyt jelent a bolygónkra.

## (6) Tartalékerőművek, tárolók szükségessége időjárás-függő erőművek esetén

Az erőművek legfontosabb jellemzője a rendelkezésre állás. A nem időjárásfüggőnek tekinthető technológiáknál (biomassza, geotermikus) ez tervezhető, a rendelkezésre állás garantálása nem okoz különösebb extra költséget. Az időjárásfüggő technológiáknál (nap, szél, kisebb mértékben a víz is) a rendelkezésre állás nem tervezhető megbízhatóan. A németországi nap- és szélerőművek fluktuáló teljesítményét szemléletesen mutatja a 3. ábra.

Németországban a beépített nap- és szélerőművi kapacitás 2016-ban kb. 80 000 MW volt. Ebből a villamos hálózatba betáplált összteljesítmény alsó értéke  $\approx 0$  MW, felső értéke  $\approx 40\,000$  MW ( $\approx 50\%$ ).

Mai ismereteink alapján kijelenthető: ellátásbiztonság szempontjából a nap- és szélerőművek kapacitásainak tervezhető igénybe vehető teljesítménye hosszú távon zéró körülínek tekinthető. A rövid távú menetrend tervezéséhez ma már rendelkezésre állnak matematikai modellszámítások, amelyekkel a mérlegkörü részvételt bizonyos mértékig tervezni lehet, így a rendszerszintű költségek valamelyest csökkenthetők.

Az időjárás-függőség rendszerszintű következményei erőművi szempontból:

- A rendelkezésre állás tervezhetősége ma még nem biztosított. A fluktuáló kiadott teljesítmény kiegyenlítését részben az erőmű szabályozásával, de leginkább energiatárolókkal lehetne megoldani. A visszaszabályozás megnövelné az egységköltséget. Az energiatárolás technológiájának jelenlegi fejlettségi szintje, főleg a költségei még nem teszik lehetővé az általános bevezetést. Nem beszélve arról, hogy a tárolók esetében is foglalkozni kellene a tárolók kiterjesztett életciklusa ökológiai lábnyomának a kérdéseivel.
- Jelenleg a hagyományos erőművek biztosítják a menetrendi kiegyenlítést, vagyis az időjárásfüggő erőművek mellé tartalékként hagyományos kapacitások rendelkezésre állásáról

kell gondoskodni. A fenti német példa alapján a 65 000 MW országos szintű fogyasztói csúcsigényhez kb. 40 000 MW hagyományos tartalékkapacitásnak kell rendelkezésre állnia. Ez az 50%-os tartalék (a beépített 80 000 MW-ra vonatkoztatva) megnöveli a rendszer költségeit, vagyis a villamos energia árát.

- Az időjárás-függőség miatti kiegyenlítési kényszer a hagyományos szabályozó erőművek számára részterheléses üzemmódot jelent, hiszen egy adott erőműnek minden pillanatban képesnek kell lennie a „felszabályozásra” és a „leszabályozásra”. A terhelésváltoztatás, az indítás és leállítás hatásfokromlással, vagyis többlet tüzelőanyag-felhasználással és nagyobb káros anyag- és CO<sub>2</sub>-kibocsátással jár.
- A részterhelések, a fel- és leszabályozások, az indítások és leállítások az erőművi berendezés egyes elemeinél nagyobb mértékű elhasználódással, ennek következményeként nagyobb karbantartási és felújítási költségekkel járnak. Ez a tétel is növeli a rendszerszintű költségeket, és ezzel a villamos energia árát.
- Ebben a fluktuáló rendszerben a rendszerirányító és az erőművek üzemvitelének harmonizálása, az erőművi tartalékkapacitások lekötése, a megbízhatóság garantálása újfajta, intellektuálisan magasabb szintű hálózati üzemeltetést, szoftverrendszereket, elemző munkatársakat, vagyis magasan képzett munkaerőhátter létrehozását igényli. Ez előnyös a foglalkoztatottság szempontjából, de költségnövekedést okoz a fogyasztó szempontjából.

Ha az érdekhordozók szempontjából vizsgáljuk az előbbi erőművi kérdéskört, akkor elmondható, hogy a fogyasztónak nem érdeke az időjárásfüggésből származó költségnövekedés. A gyártó és a befektető érdekelt abban, hogy az EU és a tagállamok energiapolitikai szabályozása garantált támogatási rendszerrel biztosítsa a megtérülésüket. Az egyes országoknak ahhoz fűződik érdeke, hogy a megújuló alapú technológiák kifejlesztése, gyártása, az üzemeltetés, a pótalkatrészek gyártása, a kapcsolódó szolgáltatások hazai munkahelyeket hozzanak létre. Az ország pénzügyi mérlege szempontjából elementáris érdek, hogy a versenypiaci villamosenergia-árakat meghaladó támogatott árakból adódó fogyasztói többletkiadások ne vándoroljanak ki az országból, hanem a hazai gazdaságot gyarapítsák. Csak olyan támogatási rendszer ésszerű, amely növeli a Bruttó Nemzeti Jövedelmet (GNI).

## (7) A villamos hálózatra gyakorolt hatás

A megújuló energiát hasznosító erőművek villamos átviteli és elosztóhálózatra gyakorolt hatását két szempontból érdemes elemezni:

### A) Az energiaáramlás irányának megváltozása a villamos hálózatban

Az erőműveket és a fogyasztókat összekötő jelenlegi villamos hálózati konfigurációk kialakulását történelmileg az alábbiak határozták meg:

- A primer energia rendelkezésre állási helye. Az erőműveket a bányák, kikötők, előnyös vasúti csatlakozás, valamint gáz- vagy olajvezetékek közelébe igyekeztek telepíteni.
- Az erőművek működéséhez környezeti hűtés (hűtőlevegő vagy hűtővíz) szükséges. Hatásfok szempontjából előnyös

sebb a hűtővíz, ezért az erőműveket a folyók, tengerek és nagy tavak partján igyekeztek elhelyezni.

- A fogyasztók elhelyezkedése. Az erőműben termelt villamos energiát a fogyasztókhoz (sűrű ipari körzetek, nagyvárosok) kell elszállítani. Mivel a villamos hálózatok kiépítése költséges, ezért igyekeztek az erőműveket a fogyasztói gócpontok közelében megépíteni.

A villamos hálózatok elemei (a 400 kV, a 220 kV, a 120 kV, a 20 kV névleges feszültségű vezetékek, azok tartalékvezetékei, a transzformátorállomások, a kapcsolóállomások, a védelmi, a biztonsági, a kommunikációs rendszerek és az irányító központok) a fent leírt három szempont alapján egy történelmileg létrejött szerves fejlődés eredményei. A hálózatok konfigurációját alapvetően Ohm és Kirchhoff fizikai törvényei alapján tervezték meg és üzemeltetik.

A megújuló energia-bázisú energiatermelés új geográfiai közttségeket hozott. A szélesebb (szélrózsza) kedvező értékei Európában többnyire nyugati, északi égtájakon, és főleg a tengereken mérhető. A napsugárzás intenzitása és óraszám az egyenlítőhöz közeledve növekszik, tehát a déli körzetek előnyösek. A biomassza megjelenési helyét a talaj- és időjárási viszonyok, a geotermikus energia helyét pedig a föld geológiai viszonyai határozzák meg. Különösen nagy hálózati problémák jelentkezhetnek, ha ezekre a megújuló energiaforrásokra olyan nagy kapacitású erőműparkok létesülnek, amelyek messze vannak a sűrű fogyasztói körzetektől. Ez az eset következett be Németországban, ahol az ország északi és északkeleti részén, szárazföldön és a tengereken óriási szélerőművi kapacitásokat építettek, Németország iparilag fejlett régiói viszont délen találhatóak (Baden-Württemberg és Bajorország). Hiányoznak azok az észak-déli vezetékek, amelyek képesek lennének az óriási kapacitásokat északról délre szállítani. Ez a helyzet nagy problémákat okozott a szomszédos országok (Lengyelország, Csehország és a Benelux államok) villamos hálózataiban, mert az északi többletenergia (Kirchhoff törvénye szerint) a szomszédos országokon keresztül, hurokáramlással jut el a déli fogyasztókhoz (Dél-Németország és Ausztria). A helyzetet tovább rontja, hogy az atomerőművek lekapcsolásával nő délen a forráshiány. Ennek a torz helyzetnek a kezelése van most napirenden az érdekelt feleknél.

A fentiek szerint a történelmileg kialakult hálózati egyensúlyok felborulásának az alábbi következményei lehetnek:

- lokális teljesítménykorlátok a hálózatok egyes szakaszain;
- hálózatvédelmi problémák megjelenése;
- az ellátásbiztonság romlása;
- új beruházások szükségessége a hálózatok módosításához. Németországban a tervek szerint 2600 km új vezeték megépítése szükséges, amelynek a költsége 21 milliárd EUR [9].

## B) A hálózatüzemeltetés új problémái és kihívásai

A villamosenergia-hálózatokat átviteli és elosztói hálózatra osztjuk. Magyarországon az átviteli rendszerirányító a MAVIR. A villamos energiát a fogyasztóhoz eljuttató regionális hálózatok (35 kV, 20 kV, 10 kV, 0,4 kV) üzemeltetője az elosztói engedélyes vagy DSO (Distribution System Operator). Magyarországon történelmileg hat regionális elosztói hálózatüzemeltető alakult ki, korábbi nevükön: ÉDÁSZ (most: E.ON Észak-dunántúli Áramszolgáltató Zrt.), DÉDÁSZ (most: E.ON Dél-dunántúli Áramszolgáltató Zrt.), TITÁSZ

(most: E.ON Tiszántúli Áramszolgáltató Zrt.), DÉMÁSZ (most: EDF DÉMÁSZ Hálózati Elosztó Kft.), továbbá az ÉMÁSZ Hálózati Kft. és az ELMŰ Hálózati Kft.

Az ellátásbiztonság feltétele, hogy a rendszerirányító (MAVIR) ellenőrzése alatt tartja a teljes villamosenergia-rendszert (VER), beleértve mind az átviteli, mind az elosztói hálózat mérlegadatait. Műszakilag a VER egyensúlyának biztosítása csak akkor lehetséges, ha minden időpillanatban birtokában van a mért betáplálási és a mért elvételi teljesítményeknek. Pillanatnyilag ez a feltétel nem valósul meg teljes mértékben.

Az időjárásfüggő szél- és naperőművek tömeges megjelenése az alábbi új jelenségeket, megoldandó kihívásokat hozta a hálózatüzemeltetőknek [9 és 10]:

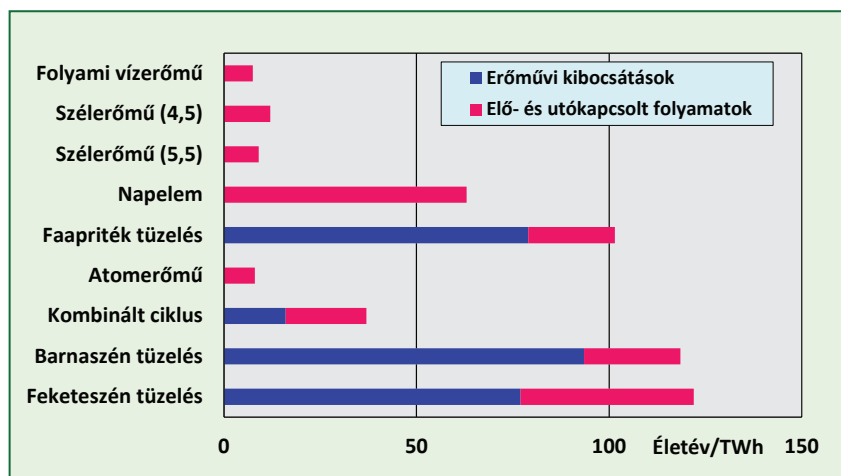
- A fluktuáló szélerőművi kapacitások fizikailag korlátozzák a kereskedők lehetőségeit a határkeresztező vezetékeknél és egyes hálózati szakaszokon (jellemzően Németország–Lengyelország–Csehország viszonylatában). Ez pénzügyi veszteségeket okoz.
- A decentrális napelemek alacsonyabb feszültségszinten táplálnak be a hálózatba. Ha az adott feszültségszinten nagyobb a betáplálási, mint az elvételi teljesítmény, akkor az energiaáramlás az alacsonyabb feszültségszintről a transzformátorokon keresztül a magasabb feszültségszintű hálózatba megy végbe. Következmény: a középfeszültségű szinteken a nem szabályozható transzformátorokat le kell cserélni szabályozható transzformátorokra.
- Megváltoznak a hálózati veszteségek. Németországi tapasztalatok szerint 30%-nál nagyobb kiépítettség esetén megnő a hálózati veszteség (alatta csökken).
- Megváltoznak a hálózati feszültségviszonyok, új meddőgazdálkodásra van szükség.
- A háromfázisú rendszerekbe terhelés-szimmetrizáló beépítése válik szükségessé.
- A nap- és szélerőművek inverterei (amelyek a termelt egyenáramot váltóárammá alakítják és szinkronizálják) 10–50 kHz tartományú frekvenciáikkal zavarják a hálózatot, a harmonikusoknál problémák jelennek meg.
- A jelenlegi fejlettségi szinten az inverterek zavarják az okos mérők üzemét.
- Magyarországon jelenleg a háztartási napelemek pillanatnyi teljesítménye nem ismert, nem jelenik meg mért adatként a MAVIR-nál, így kimarad a kontroll alatti teljesítménymérlegből. A napelemeknél hosszú távon létkérdés az energiatárolás megoldása.

Ha a hálózati gondokat, kihívásokat az érdekhordozók szempontjából nézzük, akkor hasonló megállapítások tehetők, mint fentebb az erőművek és tárolók témakörénél olvasható.

## (8) Az emberi egészség minőségének a kockázatai (Years of Life Lost, YOLL)

Amióta az ipari objektumok károsanyag-kibocsátásának kérdése az egész világon előtérbe került, számos kutatás és publikáció foglalkozik vele, a legkülönbözőbb szempontok szerint. Itt a teljesség igénye nélkül, a hazai szakmai körökben ritkán említett témaként, az erőművek egészségbefolyásoló hatását érintjük, amelyet tudományosan az „elvesztett életek” fogalma fejez ki. A 6. ábra a stuttgarti Institut für Energiewirtschaft und Rationelle





6. ábra. Erőművek egészségkárosító hatása – „ elvesztett életévek” [2]

Energieanwendung konkrét erőművekre elvégzett vizsgálatainak eredményeit mutatja be [2].

Az elemzés körébe vont konkrét erőművek teljesítménye és működési ideje: feketeszen-tüzelésű (700 MW, 35 év), barnaszén-tüzelésű (800 MW, 35 év), kombinált ciklusú (788 MW, 35 év), nyomott vizes atomerőmű (1375 MW, 40 év), faapríték-tüzelésű (24 MW, 35 év), polikristályos napelem (5 kW, 25 év), szélerőmű (1,5 MW, 5,5 m/s átlag szélesség 10 m magasban, 20 év), szélerőmű (1,5 MW, 4,5 m/s átlag szélesség 10 m magasban, 20 év) és folyami vízerőmű (3,1 MW, 60 év).

A vizsgálatok a kiterjesztett teljes életciklusra vonatkoznak, amelyeket az ISO 14040 szerint végeznek el, az ún. „folyamatlánc”-elemzéssel. A kiterjesztett életciklusra figyelembe vett kumulált anyag- és energiaigényt, valamint a kumulált NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, és CO<sub>2</sub> kibocsátásokat számítják ki, mg/kWh mértékegységben.

Az emberi egészség minőségének a romlását az ún. „elvesztett életévekben” adják meg (Years of Life Lost, YOLL), ami nem más, mint az emberi életnek a kibocsátások következményeként bekövetkező, években mért megrövidülése. A 6. ábra diagramja bemutatja az erőművek üzemideje alatti kibocsátásokból, továbbá az üzemidő előtti „láncszemeknek” (ún. előkapcsolt folyamatok), valamint az üzemidő utáni (az ún. utókapcsolt folyamatok) a kibocsátásaiból származó elvesztett életéveket – év/TWh mértékegységben.

A diagramból látható, hogy a példaként vett erőművek közül az emberi egészségromlás szempontjából a széntüzelésű erőművek vannak a legkedvezőtlenebb helyzetben. A faapríték-tüzelés nem sokkal marad mögötte. Az okok főleg az üzemidő alatti NO<sub>x</sub>- és SO<sub>2</sub>-kibocsátásokra vezethetők vissza. Érdekes eredmény, hogy a napelemek gyártástechnológiája nem kevés fajlagos egészségkárosodást von maga után. Ez magyarázható a napsugárzás már korábban említett alacsony energiasűrűségével, az alacsony hatásokkal és az alacsony csúcshasználati órással, és természetesen a speciális anyagok gyártástechnológiai folyamataival.

Az atomerőmű, a szél- és vízerőmű egészségkárosodási hatásai viszonylag alacsonyak és nagyságrendileg közel azonosak.

Ami az érdekhordozókat illeti, elég egyértelmű, hogy az állampolgároknak nem közömbös az emberi élet hosszúsága. Ami káros az emberi életre, az káros a Föld természeti világára is.

## Összefoglalás, üzenetek

A szerző szándéka az volt, hogy a megújuló energia témakörében eléggé általános, leegyszerűsített, sokszor bántóan egyoldalú érvelések helyett megkíséreljen egy szélesebb körű, komplex értékelési rendszert összeállítani. A rendszer továbbfejleszthető, és tovább is fejlesztendő. A cikkben leírtaknak bizonyára vannak vitatható, részben szubjektív elemei. Fontos lenne megvitatni az egyes értékelési szempontok skálázhatóságát, mérhetőségét. Fontos lenne olyan eszközöket fejleszteni, amely segít a tanulmánykészítőknek, a döntéshozóknak a különböző technológiák, megoldások összehasonlító értékelésében, majd a döntések meghozatalában.

Izgalmas kérdés, hogy kinek mi a fontosabb? Mi az, ami az egyes érdekhordozókat összeköti, és mi az, amiben ellentétesek az érdekeik? Szintén ebbe a csoportba tartozik az, hogy hová helyezzük közösségünk, országunk jóléte és Földünk természetvilágának védelme közötti ellentétes érdekeket. Ezen belül mennyire gondolunk a mára, és mennyire a dédunokáinkra.

Miután egy szennyezett óceánt „egy csepp tiszta víz” nem tud megmenteni, fontos az arányos felelősségvállalás elvének tisztázása, és azon törekvések cselekvő támogatása, amelyek Földünk minden résztvevőjének kötelezővé teszik az arányos felelősségvállalást.

A szerző záró ajánlasként minden gondolkodó szakembernek, döntéshozónak, közéleti szereplőnek és érdeklődőnek javasolja a 9x5-ös mátrix továbbgondolását, a [6] alatti forrásban kifejtett alapvetések és tézisek tanulmányozását azzal a céllal, hogy jobban megértsük világunk működését, hogy a fontos döntések elsődlegesen az állampolgárok és az ország javát szolgálják.

## Hivatkozások

- [1] Korényi Z.: A megújuló energiát hasznosító erőművek komplex értékelése. Kárpát-medencei Magyar Energetikusok XX. Találkozója (MESZ: Magyar Energia Szimpózium 2016). Budapest (Pesthidegkút), 2016. szeptember 22.
- [2] Mayer-Spohn, O. et al.: Lebenszyklusanalyse ausgewählter Stromerzeugungstechniken, IER, Stuttgart, 2005-2007.
- [3] Weißbach, D. et al.: Energy intensities, EROIs, and energy payback times of electricity generating power plants. Berlin, 2013
- [4] Grawe, J.: Energieerntefaktoren bei der Erzeugung elektrischer Energie. <http://www.energie-fakten.de/html/erntefaktor.html>
- [5] Projected Costs of Generating Electricity 2015. IEA, NEA, OECD
- [6] MET: Ajánlások energetikai kérdések elemzéséhez. Alapvetések és tézisek. Bp. 2015., <http://www.e-met.hu/>
- [7] Renewable Energy and Jobs. Annual Review 2016. International Renewable Energy Agency (IRENA)
- [8] Dumm, A., Ahlborn, D., Schuster, R.: Energiewende Erfolgreich gemacht? <http://www.vernunftkraft.de/de/wp-content/uploads/2016/03/Erfolgskontrolle.pdf>
- [9] [http://www.netzausbau.de/SharedDocs/Downloads/DE/Vorhaben/GesamtKarte.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](http://www.netzausbau.de/SharedDocs/Downloads/DE/Vorhaben/GesamtKarte.pdf?__blob=publicationFile)
- [10] Varjú Gy.: A decentralizált energiatermelés kockázatai és korrólatai, <http://realzoldek.hu/modules.php?name=News&file=article&sid=4489> (előadás, 2016. 09. 12.)