
HAFFNER TAMÁS*

**A MEGÚJULÓ ENERGIAFORRÁSOK ALKALMAZÁSA
A VILLAMOSENERGIA- ÉS HŐTERMELÉSRE I.
NAPENERGIA, SZÉLENERGIA, VÍZENERGIA**

*APPLICATION OF RENEWABLE ENERGY SOURCES TO POWER
AND HEAT GENERATION I.
SOLAR ENERGY, WIND ENERGY, HYDROPOWER*

ABSTRACT

Renewable energy sources can be used to generate electricity, heat energy and combined heat and power. Despite several technological and other barriers, use of renewable energy is constantly growing worldwide thus we can expect further expansion of renewable energy sources and the increase of their importance in energy supply. Utilisation of solar energy would be able to cover the total energy needs of the Earth but its low energy density, its high demand for space and the high investment costs of its use for power generation limit its use. At the same time, solar energy utilisation is the most innovative type of use of renewable energy sources, in relation to which numerous such innovative technical innovations were born recently or are developing that can support the prosperity of utilisation of solar energy. The usable wind energy potential of the Earth is 400,000 TJ/year, the exploitation of which would require 3 million wind turbines with 1 MW nominal power. The average life span of wind turbines is 30 years and their payback period is high, 7.1–21.9 years. Exploitable hydropower reserves of the Earth is 16,000–20,000 TWh, however the approximately 11,000 hydropower plants currently operating in the world are 3,000 TWh. The toolkit of hydropower utilisation is mature and proven, with low technical risk. However, it requires high investment costs but the life span of hydropower plants can exceed 100 years with proper maintenance.

1. Bevezető

„Megújuló energiaforrásnak nevezzük a természeti folyamatok során folyamatosan rendelkezésre álló vagy újratermelődő energiaforrásokat: a nap-, a szél-, a vízi energiát, valamint a biomasszából nyert és a geotermikus energiát.”¹ A megújuló energiaforrások alkalmazása a kezdetek óta jelen van az emberiség történetében, használatuk az ipari forradalmat követően megugró energiaigény következtében szorult vissza a fosszilis energiaforrások hasznosításának előtérbe kerülése miatt. A szén, majd a szénhidrogének, végül az atomenergia hasznosítása alacsony költségvonzatuk és a fosszilis energiahordozók nagymértékű, koncentrált, hasznosítható energiatartalma miatt napjainkig meghatározó része a Föld energiatermelésének. Mindazonáltal a fosszilis energiahordozók térbeli egyenlőtlen elhelyezkedéséből adódó konfliktusok és biztonságpolitikai kockázatok, továbbá ezen energiaforrások hasznosításának magas társadalmi költségei a XX. század végétől fokozatosan nagyobb figyelmet irányítottak a megújuló energiaforrások alkalmazására.

* Haffner Tamás PhD-hallgató, Pécsi Tudományegyetem Természettudományi Kar Földtudományok Doktori Iskola és Közgazdaságtudományi Kar Regionális Politika és Gazdaságtan Doktori Iskola.

A megújuló energiaforrások villamos energia (napenergia, szélenergia, vízenergia, geotermikus energia, biomassza), hőenergia (napenergia, geotermikus energia, biomassza), valamint kapcsolt hő- és villamosenergia-termelésre (napenergia, szélenergia, vízenergia, geotermikus energia, biomassza) hasznosíthatóak. Alkalmazásuk számos előnnyel jár. Ezek közül a kiemelendő, hogy fenntartható módon, a környezet minimális károsításával képes biztosítani az emberiség energiaszükségletének egy részét. Ezzel kapcsolatban szükséges megjegyezni, hogy bár a megújuló energiaforrások termelésbe bevonható összkapacitása többszörösen is képes lenne fedezni a Föld teljes energiaszükségletét, azonban a megújuló energiaforrások kis energiasűrűsége, és az alkalmazásához szükséges technológia magas fajlagos költségigénye, és több esetben nagy területigénye mellett az energiaszükséglet kis részét képes jelenleg biztosítani.

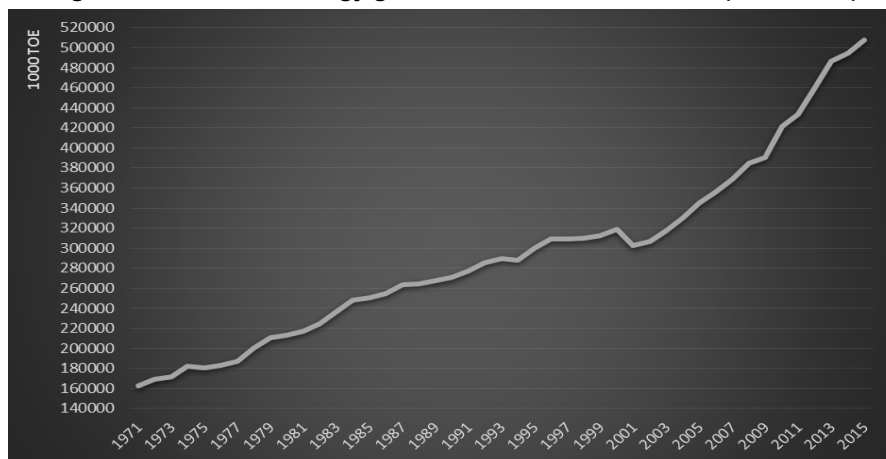
1. ábra. Különböző villamosenergia-termelő erőművek fajlagos beruházási költsége
Figure 1. Specific investment costs of different electricity generating plants

Erőműtípus	Fajlagos költség (€/kWh)
Fotovillamos	0,25–1,25
Biomassza	0,05–0,15
Szél	0,05–0,13
Geotermikus	0,02–0,10
Vízi	0,02–0,10
Atom	0,03–0,035
Földgáz-tüzelésű	0,035–0,045

Forrás: saját szerkesztés Bobok–Tóth (2014) alapján

Mindezen akadályok ellenére a megújuló energiaforrások felhasználása folyamatosan növekszik világszerte. Az alkalmazás mértéke az OECD országokban az elmúlt 45 évben több mint megtriplázódott. Kiemelendő az elmúlt 15 év teljesítménye, mely alatt az előző 30 év növekedését jelentősen meghaladó növekedésről beszélhetünk.

2. ábra. Az OECD országok megújuló energia termelése (1971–2015)
Figure 2. Renewable energy generation of OECD countries (1971–2015)



Forrás: OECD

Mindezek alapján a megújuló energiaforrások további térnyerésére, energiaellátásban betöltött jelentőségük növekedésére számíthatunk.

2. Napenergia felhasználás

A nap energiája hő és fény formájában a Föld atmoszféráján keresztül éri el a Föld felszínét. A Föld saját tengelye körüli forgása és a nap körüli elliptikus pályán történő mozgása, a föld tengelyferdesége, valamint az időjárási viszonyok változása miatt a felszínre jutó napsugárzás energiája folyamatosan változik, melynek következtében a földfelszínre érő energia $200\text{--}1000\text{ W/m}^2$ között ingadozik.²

A napenergia-hasznosítás a Föld teljes energiaszükségletét képes lenne fedezni, azonban ilyen mértékű hasznosítását számos tényező gátolja. Legfontosabb probléma a napenergia-áram alacsony energiasűrűsége, továbbá a beérkező napenergia napi és szezonális oszcillációja, valamint a napenergia-hasznosítás, kifejezetten a villamosenergia-termelésre történő hasznosítás magas beruházási költségei.³

A napenergia hasznosítás során megkülönböztetjük annak passzív és aktív hasznosítását. A passzív hasznosítás esetén alacsony hatásfokkal (15–30%) van lehetőség a napenergia alkalmazására, mely aktív hasznosítás esetén ennek közel duplája (30–50%).⁴ Az első esetben a napenergiát külön eszköz, vagy berendezés nélkül, közvetlenül hasznosítjuk. Ez alatt elsősorban az épületekben történő alkalmazást kell érteni, mely magában foglalja a direkt napsugárzás épületen belüli elnyelését, tárolását, illetve az épület légterébe történő átadását. Ennek megfelelően a napenergia mindössze tudatos tervezés segítségével, megfelelő építőanyag választással, jó tájolóással, hőszigeteléssel, valamint egyéb környezeti adottságok kihasználásával külön beruházás nélkül is hasznosítható.⁵

Az energetikai (aktív) hasznosítás során megkülönböztetjük a napkollektorral (fototermikus) és napelemmel (fotovoltaikus) történő felhasználást. A napkollektorokat használati és fűtési célú meleg víz előállítására használják, így ezen eszközökkel csak hőenergia általában csak lokális alkalmazására van lehetőség. A napkollektorok begyűjtik a napenergiát, melyet egy úgynevezett hőhordó közegnek (folyadéknak, levegőnek) adnak át, mely közegáramlás útján jut el a felhasználási helyre. A termelés és a felhasználás közötti időbeli különbséget szolártároló segítségével lehet áthidalni, mely összegyűjti és felhasználásig tárolja a hőenergiát.⁶ Komoly jelentősége van a napkollektorok használatának a mezőgazdaságban, melyet három fő területen (növényháza fűtése, szoláris szárítás, használati melegvíz-készítés) alkalmaznak.⁷

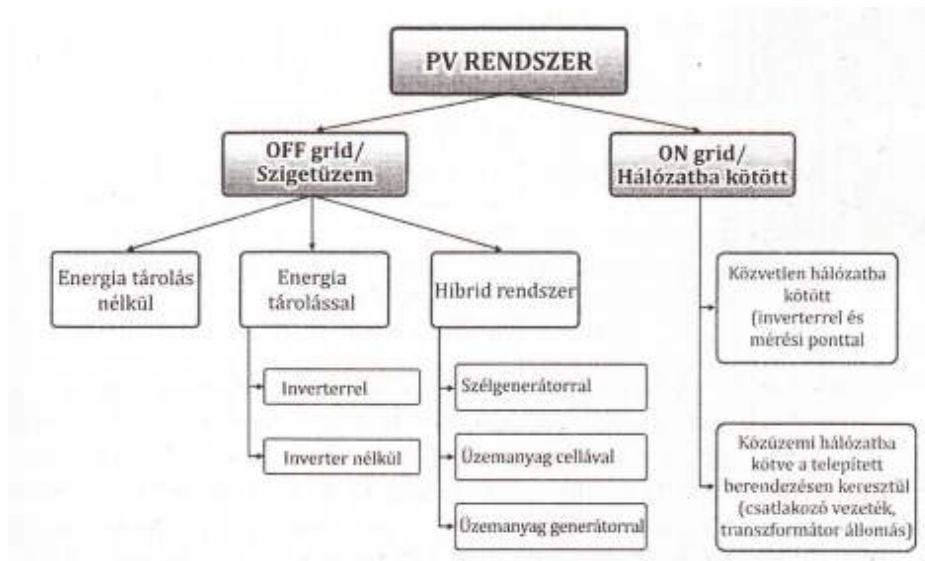
A napelemek a napsugárzás energiáját villamos energiává alakítják, melyet vagy akkumulátoros tárolással és prompt felhasználással lokális célokra, vagy villamosenergiavezeték-rendszerbe történő betáplálással lehet hasznosítani. A napelemekből felépülő erőművek komplex rendszerek, melyek a napelemtáblákon kívül a tartómechanikát, az invertereket, a biztonsági eszközöket (földelés), transzformátorokat, mérőórákat, s az ezeket a hálózattal összekötő kábeleket foglalják magukban. A napelem cellák egyensúlyban lévő, pozitív és negatív töltésű részt tartalmazó diódákból állnak, melyek fényhatás nélkül egyensúlyi állapotba vannak, azaz a pozitív (p) és negatív (n) töltés közötti átmenetnél nem keletkezik feszültség. A napsugárzás következtében a dióda pozitív töltésű fele pozitív, míg negatív töltésű fele negatív feszültséget kap, melynek következtében a pn-átmenetnél fotoelektromos feszültség jön létre, diódánként $0,4\text{--}0,5\text{ V}$ erősséggel. A diódák napelemcellákat alkotnak, melyek modulokba kerülnek forgalmazásra, melyek sorba kötve alkotják a naperőműveket.⁸

A fotovoltaikus naperőművek között megkülönböztetünk OFF grid és ON grid rendszereket. Az OFF grid rendszerek szigetüzeműek, a megtermelt energia lokálisan kerül felhasználásra. E rendszerek energiatároló egységgel (akkumulátor) vannak ellátva. Szigetüzem esetén több esetben kombinált energiahasznosításra kerül sor, a rendszerek napelemek mellett jellemzően szél- vagy benzinmotorokat tartalmaznak. E rend-

szerek a közüzemi villamosenergia-hálózatoktól távoli helyeken a legköltséghatékonyab-
bak. Hatékonyságuk alapvetően abban áll, hogy alkalmazásuk esetén megtakarítható a
közüzemi hálózatra történő bekötő hálózat több ezer euro/km kialakítási költsége. Műkö-
désük ezen kívül nem energia-hatékony, ugyanis az energiátárolás megoldását biztosító
akkumulátorok jelentős energiavesztéssel üzemeltethetők.

Az On grid rendszerek közvetlenül a villamosenergia-hálózatba táplálják az energiát. A
naperőmű által termelt egyenáram feszültségét teljesítményszabályozó egységhez vezetik,
mely azt váltófeszültséggé alakítja át. Háztartási méretű rendszerek esetén váltóárammá
alakítást követően a háztartáson belül történik meg az áram felhasználása. Ha a háztartás
felhasználási igénye nagyobb, mint a prompt megtermelt energia, abban az esetben a rend-
szer az inverteren a közüzemi hálózatról pótolja a szükséges energiát. Fordított esetben,
amikor a rendszer által megtermelt energia több, mint a hálózat fogyasztása az inverteren
keresztül visszatáplálás történik a közüzemi hálózatba.⁹

3. ábra. A fotovoltaikus rendszerek felépítése
Figure 3. The construction of photovoltaic systems



Forrás: Varjú (2014)

A napenergia hasznosítása magas fajlagos beruházási költséggel és ennek következté-
ben hosszú megtérülési idővel rendelkezik. Ez a különböző napenergiát alkalmazó rend-
szerek esetében azonban nagy eltérést mutat. Növényházak esetén 5–10 év, szárítóknál 1–8
év, melegvíz-készítő, illetve fűtő berendezéseknél 6–10 év, míg napelemek esetén akár 10–
30 év is lehet.¹⁰ Költsége az elmúlt közel hatvan évben drasztikusan csökkent. Míg 1960-
ban 1000 dollárba került 1 W villamos energia előállítása napenergiából, addig ez 1970-re
100, 1980-ra 10, napjainkra pedig 4 dollárra csökkent.¹¹ Ma Magyarországon egy 3 kW-os
méretű háztartási erőmű hozzávetőlegesen 2 millió forint költségen építhető ki.¹² A még
mindig magas költségek ellenére a napenergia-hasznosítás a leggyakoribb és legnépsze-
rűbb megújuló energiaforrás alkalmazási módozat. Felhasználása világviszonylatban a
legdinamikusabban fejlődő megújuló energiaforrás, melynek következtében a naperőmű-
vek névleges teljesítménye 2013-ra elérte a 130 000 MW-ot.¹³

A napenergia-hasznosítás egyben a megújuló energiaforrások alkalmazásának leginno-
vatívabb típusa, melynek kapcsán a közelmúltban számos olyan innovatív technikai újítás

született, vagy van születőben, mely támogatni tudja a napenergia hasznosítás prosperálását. A napelemek nagy helyigényére jelent tökéletes megoldást a napelemes utak megjelelése. Az útburkolatként alkalmazható napelem panelek speciális edzett üvegből készülnek, teherbírásuk az aszfaltéval azonos. Az első napelemes útszakasz kiépítésére várhatóan még 2016 vége előtt sor kerül az Amerikai Egyesült Államokban.¹⁴ E találmány továbbfejlesztéseként értelmezhető a magyar feltalálók által kifejlesztett „FUTI” elnevezésű napelemes járólap, mely a napenergia hasznosítása mellett a rajta haladók által leadott kinetikus energiát is hasznosítja.¹⁵ Szintén magyar innováció EcoSolifer vállalatcsoport által gyártott, a direkt napsugárzás mellett a visszavert napfényt is hasznosító, nagyobb élettartalmú napelem.¹⁶

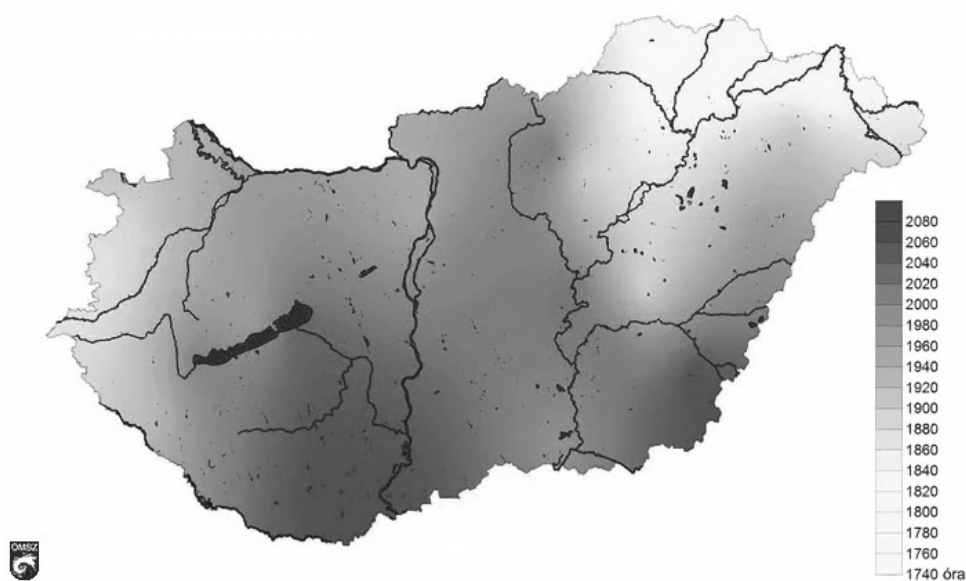
Mindezen innovációk jól mutatják, hogy a napenergia hasznosítás tekintetében komoly technológiai fejlődésre számíthatunk, mely további lendületet adhat a napenergia hasznosításának további növeléséhez.

2.1. Naperőművek Baranya megyében

Magyarországon 1740 és 2080 között változik a napsütéses órák száma, a legtöbb besugárzás a Tiszántúli déli területein éri az országot, de Dél-Dunántúlon és Alföldön is 2000 órát meghaladó a napsütéses órák száma. A legkevesebb besugárzás a nyugati határszélen és az Északi-középhegységben éri hazánkat. Ennek mennyiségét a földrajzi szélesség és a felhőzet mennyiség határozza meg. Tekintettel Magyarország kis területére, hazánkban elsődlegesen a felhőborítottság a meghatározó tényező.

4. ábra. Az évi átlagos napfénytartam (óra) Magyarországon (1971–2000)

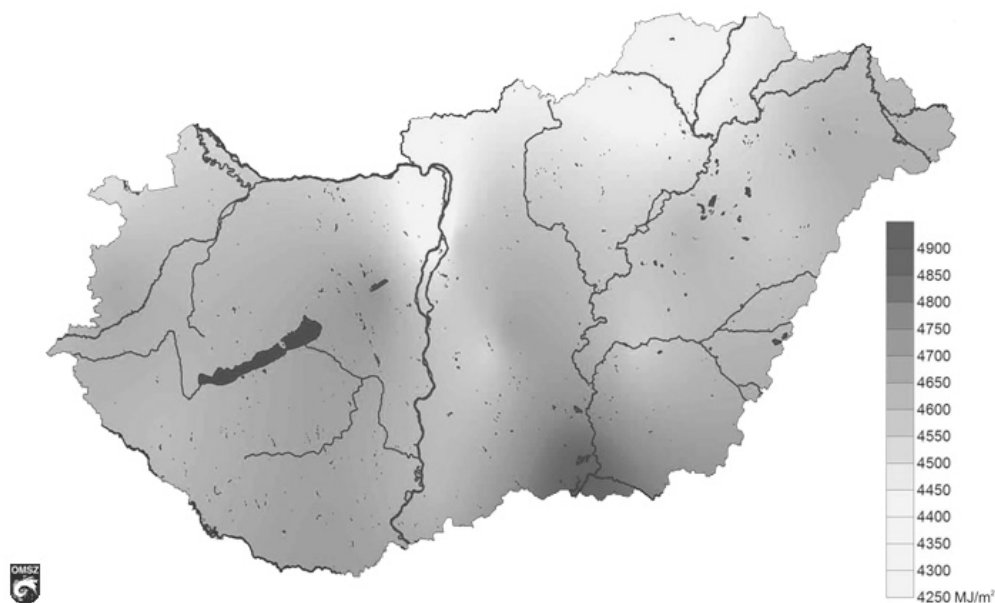
Figure 4. The annual average sunshine duration (hours) in Hungary (1971–2000)



Forrás: Országos Meteorológiai Hivatal

A földfelszín elérő energia mértéke 250–1000 W/m² között változik, elsősorban évszaktól függően. Bár a napsütéses órák száma szinte az ország egész területén magas, 2000 óra fölötti értéket mutat, az egy négyzetméterre eső átlagos felhasználható napenergia mértéke csak Csongrád megyében mutat kiemelkedő értéket.

5. ábra. A globálsugárzás (MJ/m²) átlagos évi összege Magyarországon (2000–2009)
 Figure 5. The annual average amount of global radiation (MJ/sqm) in Hungary (2000–2009)



Forrás: Országos Meteorológiai Hivatal

A Dél-Dunántúli régióban létrehozott, megújuló energiaforrást alkalmazó új erőművek döntő hányada a napenergiát hasznosítja. Az 1313 darab (2014) háztartási méretű (0,05 MW alatti kapacitás) kiserőmű mellett, melyek alapvetően saját célra termelő erőműveket, található a régióban 10 (2014) elsődlegesen 0,5 MW közeli, ám a könnyebb engedélyeztetési eljárás miatt tudatosan az alatti teljesítményű, hálózatra termelő naperőmű park is. Ilyen közel 0,5 MW névleges teljesítményű erőmű található Sellyén és Szigetváron is. Sellye közel 3000 lakossal rendelkező kisváros, a Dél-Dunántúl legszegényebb vidékének, az Ormánságnak a központja. 2012-ben adták át az akkor az ország legnagyobb naperőművének számító sellyei naperőmű parkot. A 2,5 hektáros területen 3500 m² felületű napelem mező került kialakításra, mely 0,49 MW névleges villamosenergia-termelő kapacitással rendelkezik. Az átlagos megtermelt éves 772 000 kWh energia hozzávetőlegesen 250 háztartás éves villamosenergia-igényét képes biztosítani. A beruházás közel 1,5 millió euróból valósult meg, 50 százalékos támogatásintenzitás mellett. A beruházás várható megtérülési ideje a támogatáson felüli rész vonatkozásában több mint 10, a teljes beruházási költség tekintetében több mint 25 év.¹⁷ Hasonló paraméterek között létesült 2013-ban Szigetváron kettő, egyenként 0,49 MW névleges teljesítményű naperőmű, mely a régióban további közel 500 háztartás villamosenergia-szükségletét képes biztosítani.

2016 tavaszán került átadásra Dél-Dunántúl legnagyobb és az ország második legnagyobb naperőmű parkja a Dél-Dunántúli régió központjában, Pécsen. A több mint 15 millió euró költségen épített naperőmű park névleges teljesítménye 10MW, ami közel 5000 háztartás igényeit képes biztosítani, továbbá 15 000 CO₂-kibocsátást takarít meg. A beruházás az Európai Unió és Magyarország Kormányának támogatásával valósult meg, mely a költségek 85%-át támogatta. A napelem park a pécsi erőmű korábbi zagyterén került kialakításra. A 10 hektáros területen 40 000 darab napelem került elhelyezésre, nyolc, egyenként 1,25 MW kapacitású modulban. A megtermelt energia a pécsi erőművön keresztül betáplálásra az országos villamosenergia-hálózatba.¹⁸ Bár a napelempark névleges teljesít-

ménye nagyságrendekkel elmarad még a mellette található pécsi biomassza erőműtől is, azonban hasonló méretű naperőművek létesítésével számos fosszilis kapacitás válik kiválthatóvá.

3. Szélerőenergia-felhasználás

A szélerőenergia hasznosítás a napenergia hasznosítás közvetett módjaként is értelmezhető. Becslések szerint a földre érkező napenergia 1-2 százalékát veszik fel a szélrendszerrek.¹⁹ A szél a napsugárzás erősségének következtében kialakuló hőmérsékletkülönbség kapcsán bekövetkező légmozgás eredménye. A szélerőenergia alkalmazása során a különböző sebességgel áramló levegő mozgási energiájának hasznosítására van lehetőség. A föld hasznosítható szélerőenergia-potenciálja 400 000 TJ/év, melynek kiaknázásához 3 millió 1 MW névleges teljesítményű szél turbinára lenne szükség.²⁰ A szél sebességét és irányát alapvetően a megmozduló légtömegek hőmérsékletkülönbsége és tömege határozza meg, melyet a mikro klimatikus viszonyok és a talajegyenlőtlenség befolyásol. A szél sebességétől függően előfordulnak enyhe légmozgástól kezdve heves szélviharokig eltérő légmozgások, melyek kiszámíthatatlansága megnehezíti a szélerőenergiát hasznosítani kívánó berendezések gyártását. Ennek során kiemelt figyelmet kell fordítani az eszközök időtállóságára és a viharok megelőzésére. A szélerőművek által nyerhető energia az áramló légtömeg sebességének köbével arányos, melynek következtében a szélerőenergia hasznosítás kiemelten érzékeny a szélerősebességre.²¹

A szélerőenergia mozgási (kinetikus) és elektromos energiává alakítható, mely alkalmazásának évezredes története van. I. e. előtt 200-ból Perzsia területéről származnak a legrégebbi leletek arra vonatkozóan, hogy szélmalomokat használtak mezőgazdasági termelés során.²² Először a függőleges tengelyű szélkerekek jelentek meg, melyek bármilyen irányú szélben képesek voltak a mozgási energia mechanikus hasznosítására. Ezeket a vízszintes tengelyű, szárnylapátos szélkerekek szorították ki, melyek bár csak megfelelő szélirány esetén működtek (a lapátot hozzá kellett igazítani a szélirányhoz), azonban hozzávetőlegesen tízszer akkora energiatermelésre voltak képesek elődeiknél. A szélkerekek által termelt kinetikus energiát malomok, fűrész- és egyéb gépek mechanikus meghajtására használták. Az első világháború során elért repülőtechnikai fejlesztések pozitív hatást gyakoroltak a szélmalomok fejlődésére is, mely a változtatható állószögű szárnylapátok kifejlesztéséhez vezetett. Ez lehetővé tette a szélerőenergia hasznosításának optimalizálását. A 20. század elején, az Amerikai Egyesült Államokban jelentek meg az első vízpumpálásra használt szélkerekek.²³

A szél elektromosenergia-termelésre történő felhasználására a 20. elejétől találunk példát. Az 1930-as éveket követően kezdődött meg a 100 kW-nál nagyobb teljesítményű szél-erőművek építése. Amerikában 1941-ben, Európában 1963-ban helyezték üzembe az első 1 MW teljesítményt meghaladó erőművet. Az elmúlt évszázadban folyamatosan nőtt a szélerőművek mérete és teljesítménye. 2002-ben Németországban üzembe állították az első 2,5 MW teljesítményű szélerőművet.²⁴ A jelenlegi szélerőművek 1,8–4 m/s sebességű szél-től 9–11 m/s szélerősebességig tudnak villamos energiát termelni, ez utóbbi 35–40 km/h sebességnek felel meg. E fölött speciális védelmi rendszerre van szükség, mely mellett korlátozottan képesek az energia termelésre.²⁵ A szélerőművek átlagos élettartalma 30 év,²⁶ megtérülési idejük magas, 7,1–21,9 év.²⁷

A jelenleg is használt szél turbinákat számos műszaki paraméter szerint csoportosíthatjuk. A legfontosabb csoportosítás a szélerőművek által megtermelt villamos energia hasznosíthatósága alapján történik. Ez alapján megkülönböztetünk helyi energiafelhasználásra termelő, úgynevezett sziget üzemű erőműveket, s a villamos energiát az elektromosener-

gia-hálózatba betáplálni képes, úgynevezett hálózati üzemű erőműveket. Szigetüzem esetén az erőmű által megtermelt elektromos energia lokálisan kerül hasznosításra, kisfogyasztók (háztartások, kisüzemek) ellátását tudja biztosítani. A megtermelt energia a legtöbb esetben akkumulátor töltésére fordítódik, mely képes ellensúlyozni a termelés és a hasznosítás közötti időbeli eltéréseket.

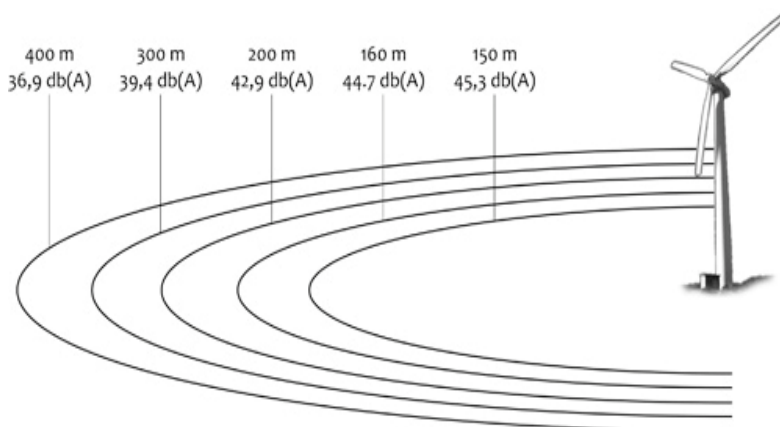
A gyakoribb megoldást a hálózati üzem jelenti. Ez csak nagyteljesítményű szélerőművek esetén tud rentábilis lenni, melyet a 100 kW feletti teljesítményű szélerőművek tudnak biztosítani. Termelést hozzávetőlegesen 3–5 m/s szélsébségtől 20–30 m/s szélsébségig végzik.²⁸ Költségmegtakarítás végett a hálózatra termelő szélerőművek telepítést általában csoportosan végzik.

A szélturbinákat méretük alapján három csoportba sorolhatjuk. Kicsi, különálló turbinákat (<10 kW) általában fűtésre és akkumulátor töltésre alkalmazzák, termelésük lokális, nem hálózatba kötött. A közepes, és nagyméretű szélturbinák akár több ezer kW teljesítményűek is lehetnek. Alkalmazásukra általában nem önállóan, hanem csoportosan, szélparkokban, szélfarmokon kerül sor. Ezek a turbinák egymással összekapcsolva hálózatra kötve termelnek áramot. Speciális csoportot jelentenek az úgynevezett hibrid energiarendszerek, ahol a szélturbinákat más energiát termelő egységekkel, jellemzően napelemekkel és dízelmotorokkal kapcsolják össze. Ezek a kisméretű (10–150 kW) erőművek is lokális hasznosításra termelnek energiát.²⁹

A szélenergia hasznosítása nem jár közvetlen károsanyag-kibocsátással, továbbá a szélerőműt alkotó anyagok legtöbbször a szélturbina életciklusát követően újrahasznosítható. Alkalmazásával 260–570 g/kWh CO₂ és 0,26–0,57 g/kWh NO_x-kibocsátás megtakarítás érhető el.³⁰ Itt fontos ugyanakkor megemlíteni, hogy német vizsgálatok szerint egy 2 MW kapacitású szélerőmű elkészítése, felállítása, működtetése és elbontása során annyi üvegházhatású gáz kerül kibocsátásra, mint az erőmű 8 havi működése során megtakarított kibocsátás.³¹ Ez ugyanakkor figyelembe véve a szélerőművek 30 éves életciklusát még mindig kiemelten környezetkímélő a többi megújuló energiaforrás alkalmazáshoz képest is. A szélerőműpark nagy helyigénnyel rendelkezik, azonban területének 95–99 százaléka érintetlen marad.³² A szélerőművek negatív környezeti hatásait a vizuális és zajszennyezésben ragadhatjuk meg. A zajhatások zavaró hatása miatt a szélerőműveket lakott területtől távolabb helyezik el.

6. ábra. Szélerőművek zajhatása

Figure 6. Noise effect of wind turbines

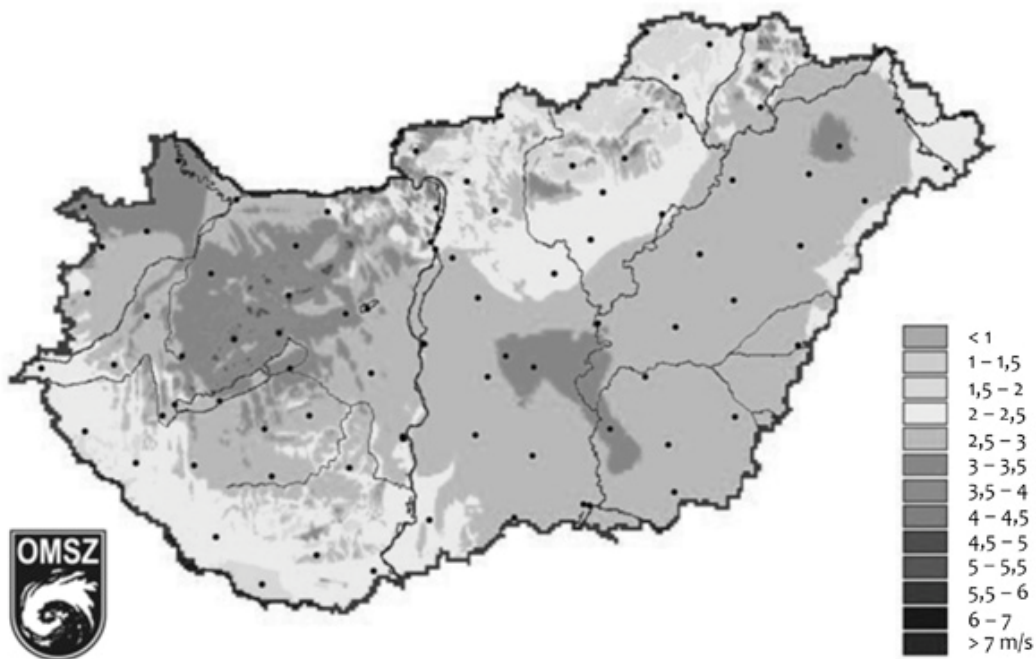


Forrás: Szalai et al. (2010)

A szélfarmokat vagy szélparkokat elsősorban jó széljárású, sok esetben tengerparti helyeken kezdték telepíteni, ahol megfelelő mennyiségű hasznosíthatatlan terület és folyamatos, egyenletes széljárás állt rendelkezésre. E két tényezőt túl a helyszínválasztás szempontjából fontos a közüzemi villamosenergia-hálózathoz és a közúthálózathoz történő közeli elhelyezkedés. A helyszín megközelíthetősége jelentős fajlagos költségvonzatot jelent, így célszerű a szél erőműveket nagyobb teherbírású út közelébe telepíteni. Ennél is nagyobb jelentősége van az elérhető közüzemi villamosenergia-vezeték közelségének és kapacitásának. A szél erőműpark és az elektromos-hálózat között kiépítendő vezeték hossza növeli a hálózati veszteséget, valamint kiépítése jelentős fajlagos költség növekedést jelent, így a vezetékrendszer közelsége két szempontból is fontos tényező. Emellett ugyanakkor az elérhető hálózat jellege is fontos. Minél nagyobb a hálózat feszültsége, annál magasabb teljesítmény felvételére képes a hálózat. Nagyfeszültségű hálózat esetén (275–400 kV) nem okozhat gondot a szél erőműpark teljesítményének felvétele, azonban kisfeszültségű hálózat esetén (11–132 kV), mely a vidéki rendszerekre jellemző, ahol a szélfarmok találhatóak, gondot okozhat egy nagyobb szél erőműpark teljesítményének felvétele. Egy 11 kV feszültségű hálózat 1–3 MW-nál nagyobb teljesítményt nem tud felvenni, melyet akár 1 szél turbina teljesítménye is meghaladhat. További korlátot jelent, hogy az elektromos közműhálózatok csak 20 százalékos részesedésig tudják rugalmasan kezelni a betáplált szélenergiát.³³ Mindez alapján kiemelt telepítési tényező a környezetben elérhető villamosenergia-hálózat közelsége és jellege.

Magyarország 14. századi látképének meghatározó elemei voltak a szélmalomok. A század végén már több mint 700 működött az országban. Magyarország európai viszonylatban mérsékelt széljárta terület, a földfelszíni átlagos szélesség 3–5 m/s között mozog (10 m magasságban).³⁴

7. ábra. Az éves szélesség 10 m-en
Figure 7. Annual wind speed at 10 meters



Forrás: Szalai et al. (2010)

Az ország közepes szélenergia-potenciállal rendelkezik, az Európai Szélenergia Egyesület által számított értéke 1800 MW³⁵. Az ország szélerőműveinek meghatározó része az Észak-Dunántúlon található. Első hazai szélerőmű 2000 végén, a Bakonyi Erőmű telepelyén épült meg. A 30 m magas, Nordex N29/250 típusú szélerőmű 250 kW névleges teljesítménnyel rendelkezik. Az első szélerőműparkot az osztrák határ mellett adták át 2002-ben, melyet két szélturbina alkotott. A 65 m magas erőművek átlagosan 6,3 m/s szélsébség mellett termelnek. Az első nagyobb léptékű szélerőműpark átadására 2005-ben került sor a Vas megyei Vép község mellett, ahol 16 darab, egyenként 600 kW névleges teljesítményű, 70 méter magas szélerőmű található.³⁶

A szélenergia hazai hasznosítását elsősorban a jogszabályi környezet akadályozta és akadályozza. Ezek közül kiemelendő az a 2000-es évek második felében hatályban lévő szabályozás, mely büntetés fizetésére kötelezte a szélerőmű tulajdonosokat, ha a szélerőművek energiatermelése 50 százalékkal meghaladta az előre jelzettet.³⁷ 2006-ig mindösszesen 300 MW kapacitás létesítésére adtak ki engedélyt, holott a termelői igény ezt több mint háromszorosan meghaladta. 2009-ben újabb 410 MW létesítésére nyílt lehetőség.³⁸ Magyarország jelenleg 330 MW telepített, névleges szélenergia-termelő kapacitással rendelkezik, mely bővítés nélkül 2030-ig 250 MW-ra csökken.³⁹ A bővítést a jelenlegi jogszabályi környezet a korábbiakhoz képest tovább nehezítette. A villamosenergia-ipari építésiügyi hatósági engedélyeztetési eljárásról szóló kormányrendelet⁴⁰ 2016 szeptemberi módosításaival szélerőmű mezőgazdasági területen csak akkor létesíthető, ha az adott terület már legalább 3 éve kivonásra került a mezőgazdasági művelés alól, továbbá ha létesítést a „településfejlesztésért és településrendezésért, az iparügyekért, a környezetvédelemért, természetvédelemért, valamint az energiapolitikáért felelős miniszterek képviselőinek részvételével működő bizottság” ezt támogatja. Ez, ha nem is ellehetetleníti, de jelentősen megnehezíti a hazai szélenergia termelés fejlődését, melynek kapcsán a kapacitások csökkenésével kalkulálhatunk 2020-ig. Bár az ország szélenergia-potenciálja közepes, azonban a kiaknázható 1800 MW kapacitás részleges kihasználása is fedezni tudná egy atomerőműi blokk teljesítményének kiváltását, melynek tekintetében megfontolásra lenne érdemes a szélerőmű-kapacitások nagyobb kihasználása a jelenlegi kapacitások megtartásával és bővítésével.

4. Vízenergia hasznosítás

A szélenergia-hasznosításhoz hasonlóan a víz energiájának alkalmazása során is a napenergia közvetett felhasználására kerül sor. A földfelszínen található víz napsugárzás hatására helyzeti energiát nyer, melynek nagy részét a kicsapódást és földre hullást követően elveszíti. A vízben tárolt, megmaradó energia nagysága attól függ, hogy a kicsapódott víz milyen tengerszint feletti magasságban ér földet. Helyzeti energiáját a tengerszint felé való közeledés során a mederhez való súrlódás és a többi vízrészecskével való súrlódás során veszti el, mely hőenergiává alakul. A víz a napsugárzás következtében folyamatos körforgásban van, energiakészlete folyamatosan megújul.⁴¹

A szélenergiához hasonlóan a vízenergia hasznosítása is az ókorig nyúlik vissza. A víz energiáját vízikerekek segítségével az ókori Kelet nagy társadalmi hasznosították a mezőgazdaságban. A 18. században már három különböző típusú vízikereket alkalmaztak. Az alulcsapott vízikerek lapátjai belemerültek a vízbe, így minden áramló víztípus esetén lehetett használni, míg a felülcsapott vízikerek zárt lapátjai a kerékre ráeső víz energiáját tudták hasznosítani. Ennek továbbfejlesztett változata volt a középen csapott vízikerek, mely a kisebb esésmagasságú víz hasznosíthatóságát tette lehetővé.⁴²

A vízben rejlő helyzeti energia azon része, mely mederellenállás megszüntetésével fel-

szabadítható, hasznosítható villamosenergia-termelésre. A mederellenállás a vízsebesség csökkentésével és a vízmélység növelésével redukálható. A vízsebesség csökkentését eredeti medertől kedvezőbb hidraulikai és mederédességű csatorna kialakításával, utóbbit duzzasztóművek vagy völgyzárógáták építésével lehet megvalósítani. Mindezekkel a sűrűlódás során elhasználódó energia 60–70 százaléka takarítható meg, s válik ezzel elméletileg hasznosíthatóvá. A föld elméleti vízenergia-készlete 48 230 TWh, de töredéke a műszakilag hasznosítható. Ennek mértéke 16 000–20 000 TWh közötti.⁴³ A műszakilag hasznosítható készlet teljes hasznosítására akkor van lehetőség, ha a vízerőmű kiépítési vízhozama (a vízerőmű turbinái által teljes nyitás mellett elnyelni tudott vízmennyiség) ezzel megegyező, vagy ennél magasabb. A Földön a hasznosítható vízenergiának csak töredéke kerül hasznosításra. A jelenleg a világon működő, hozzávetőlegesen 11 000 vízerőmű összteljesítménye 0,874 TW, megtermelt villamosenergia-mennyiség hozzávetőlegesen 3000 TWh.⁴⁴

A vízerőműveknek három alaptípusát különböztetjük meg. A folyóvízi erőművek a víz természetes lefolyását hasznosítva termelnek energiát, melynek hatékonyságát – a korábban leírtaknak megfelelően – kedvezőbb hidraulikai és mederédességű csatorna kialakításával lehet fokozni. A második csoportba tartozó erőművek mesterségesen, gátak segítségével kialakított erőművek tartoznak, ahol a tározóban található víz leeresztésével termelhető villamos energia.

A harmadik csoportba a szivattyús energiatároló erőművek tartoznak, melyek a megtermelt energiát a leeresztett víz visszapumpálására hasznosítják.⁴⁵ E erőművek célja nem a villamosenergia-termelés, hanem annak raktározása, ezzel áthidalva a villamosenergia-termelés és -felhasználás közti időbeli eltérést. Napjainkban a szivattyús energiatároló rendszerek tekinthetők a leghatékonyabb energiatároló rendszernek.⁴⁶

A második típusú vízerőműveket hasznosítható esés szempontjából további három csoportba sorolhatjuk. A kis esésű erőművek ($H \leq 15$ m)⁴⁷ a folyóvizek síkvidéki szakaszán építhetők, ahol a medret duzzasztógáttal zárják el. Ez az erőműtípus nagy vízhozamot hasznosít, viszont a kismértékű víztárolási kapacitása miatt energiatermelése ingadozó, nem folyamatos. A nagy esésű erőművek ($H > 50$ m) a vízfolyások hegyvidéki szakaszán telepíthetők, a víz összegyűjtését völgyzárógáttal végzik. Az erőmű nagy vízmennyiséget tárol, ugyanakkor viszonylag kis vízhozamot hasznosít. A közepes esésű ($15 < H \leq 50$) erőművek a kis és nagy esésű erőművek között képez átmenetet.⁴⁸

A vízerőműveket teljesítmény alapján 4 kategóriába sorolhatjuk. 100 kW teljesítmény alatt törpe, ennél nagyobb, de 10 MW-nál kisebb teljesítményű erőmű esetén kis, 10 MW és 100 MW közötti teljesítmény esetén közepes, 100–1000 MW között nagy, míg efelett óriás teljesítményű erőműről beszélhetünk. A törpe és a kis erőműveket összefoglaló néven kisléptékű erőműnek nevezzük. E vízerőműtípus nagy hatékonysággal (70–90%), nagy kapacitástényezővel ($50\% <$) üzemeltethető jól tervezhető energiahozzammal.⁴⁹ A kisléptékű és közepes erőművek alaperőműként szolgálnak, elsődlegesen regionális villamosenergia-igények kiszolgálását hivatottak biztosítani. A nagy erőművek alap- és csúcserőműként is szolgálhatnak, azaz biztosítható velük a folyamatos, egyenletes termelés, valamint a csúcsidőszakokban a megemelkedett villamosenergia-igény megtermelése is. Ezen típusú erőművek teljesítményükből adódóan kiemelten szolgálják a CO₂ emisszió csökkentésének törekvését.⁵⁰

1. táblázat. Vízerőművek osztályozása

Table 1. Classification of hydro power plants

Kategória	Teljesítmény	Típus	Energiafelhasználás jellege	Beruházási költség
Kisléptékű	< 10 MW	folyóvízi	alaperőmű	2-4 millió USD/MW
Közepes	10-100 MW	víztározói	alaperőmű	2-3 millió USD/MW
Nagy	> 100 MW	víztározói	alap- és csúcserőmű	<3 millió USD/MW

Forrás: saját szerkesztés Szlifka (2004), Lukács (2010) és Bartholy(2013) alapján

Vízerőművek speciális fajtája az árapály-erőmű. Ezen erőműtípus tengerparton kerül kialakításra, ahol tengerek/óceánok vízének a Hold vonzása következtében a kialakuló mozgásából származó energiát hasznosítják.⁵¹

A vízenergia hasznosítás eszközrendszere kiforrott és kipróbált, alacsony műszaki kockázattal rendelkező. Bár magas beruházási költsége, azonban a vízerőművek élettartalma megfelelő karbantartás mellett a 100 évet is meghaladhatja, így fajlagos költsége nemcsak a többi megújuló energiaforrásnál, de az atomerőművek és a földgáztüzelésű hagyományos erőművek fajlagos energiatermelő költségénél is alacsonyabb lehet. Ebből következőleg a vízerőmű építés gazdaságossága kevésbé függ a mindenkori energiaáraktól. A vízenergia hasznosítása tiszta, CO₂, SO₂, NO_x semleges energiaforrás, melynek alkalmazása minimális környezetszennyezéssel jár. Itt szükséges azonban megjegyezni, hogy a nem megfelelően megtervezett folyóvízi, illetve a nagyteljesítményű gátrendszerű vízerőmű építése komoly környezetrombolással járhat, melyre számos példát találhatunk. A 2008-ban megnyitott, Jangce folyón található Három-szurdok-gát a maga 22 500 MW névleges teljesítményével a világ legnagyobb erőműve. A gát megnyitásával 90–100 métert emelkedett a folyó vízszintje, mely 13 500 falut, 1,3 millió ember lakhelyét, számos veszélyeztetett növény és állat élőhelyét öntötte el.⁵² A vízenergia fenntartható hasznosítása érdekében a vízerőművek tervezése és kivitelezése során figyelemmel kell lenni mind a környezeti, mind a szociális, mind a gazdasági tényezőkre.⁵³

Magyarország műszakilag hasznosítható vízenergia készlete 989 MW, melynek kiaknázásával éves szinten 7446 TWh villamosenergia lenne termelhető, azonban ennek csak töredéke kerül hasznosításra.⁵⁴ A hazai folyók közül a Duna (72%) rendelkezik a legnagyobb energiakészlettel, amit a Tisza (10%), a Dráva (9%), majd a Rába és a Hernád (5-5%) követ. A három legnagyobb energiakészlettel rendelkező folyó hazai szakaszából a Dráván egyáltalán nem, a Dunán pedig jelképes mértékben történik villamosenergia-termelés.⁵⁵

2. táblázat: Vízerőművek alkalmazásának gazdasági, szociális és környezeti szempontjai

Table 2. Economic, social and environmental aspects of use of hydro power plants

	Kiaknázható villamos teljesítmény MW	Kiaknázott villamos teljesítmény MW	Hasznosítás aránya %
Duna	707	2	0,3
Tisza	99	40	40
Dráva	88	0	0
Egyéb	95	14	14,7
Összesen	989	56	5,6

Forrás: MTA (2010)

Az első magyar vízerőmű a Rábán, Ikervárnál létesült 1896-ban 1 MW névleges teljesítménnyel.⁵⁶ A két legjelentősebb, 10 MW feletti névleges teljesítményű hazai vízerőmű a tiszalöki (Tisza I.) és a kiskörei (Tisza II.) erőművek. Előbbi 1959-ben került üzembe he-

lyezésre, 5 méteres esésével kis esésű erőmű, míg 12,5 MW névleges teljesítményével közepes teljesítményű erőmű. Utóbbi 1975 óta termel villamos energiát, 6,27 méteres víz-esésével és 28 MW névleges kapacitásával a Tisza I. erőművel azonos kategóriába esik. A harmadik, Csongrád mellék tervezett tiszai erőmű nem készült el.⁵⁷

Bár nem Magyarország területén található, azonban a hazai vízenergia hasznosítás megítélésére meghatározó hatást gyakorolt a bős-nagymarosi vízlépcső. A magyar–csehszlovák (ma szlovák) határszakaszon épült dunai vízerőmű működése érdekében csehszlovák oldalon oldalsatorna épült, ellentétben a folyó felsőbb szakaszán (Ausztria, Németország) a folyómederbe telepített erőmű építési gyakorlattal. A csatornán csak a bösi erőmű épült meg, a magyarországi területre tervezett nagymarosi – komoly civil tiltakozások hatására – nem, így Magyarország lemondott a csatorna építéséből adódó vízenergia-termelési lehetőségéről és a mai napig le nem zárt jogviták miatt nem részesül az ország a bösi erőmű évi mintegy 1000 GWh energiatermeléséből sem.⁵⁸ Részben ennek is köszönhetően Magyarországon a vízenergia hasznosítása a rendszerváltást követően háttérbe szorult.⁵⁹ a „magyar gyakorlat nem létezőként kezeli a vízenergiát annak ellenére, hogy az árstabilitást növelő és az importfüggőséget csökkentő, belföldi energiaforrás, amely nem vagy csak minimális mértékben igényel gazdasági támogatást.”⁶⁰ Ezzel Magyarország közel 1000 MW megújuló energiaforrás kiaknázásnak lehetőségéről mond le úgy, hogy a környező országok (Szlovákia, Ausztria) gond nélkül hasznosítják, vagy kívánják hasznosítani (Dráva) a Duna és Dráva vízenergiáját.

5. Összefoglalás

A megújuló energiaforrások részaránya a bruttó végső energiafelhasználásban – a számos gátló tényező ellenére – folyamatosan növekszik világszerte. Ezt az utóbbi időkben kidolgozott, vagy kidolgozásra váró technológiai innovációk segítik. A bemutatott három megújuló energiaforrás (napenergia, szélenergia, vízenergia) hasznosítása számos kiaknázatlan, vagy csak részben kiaknázott lehetőséget jelent a fosszilis energiaforrásoktól történő függőség teljes megszüntetésében. Magyarország a bemutatott három megújuló energiaforrás közül egyedül a napenergia elterjedését támogatja annak ellenére, hogy mind szél-, mind pedig vízenergia tekintetében atomerőműi blokkok teljesítményét meghaladó kiaknázatlan kapacitással rendelkezik. Mindez megfontolásra ad okot annak tekintetében, hogy valóban jó úton jár-e Magyarország villamosenergia-termelő portfóliójának kialakításában.

JEGYZETEK

1. Bartholy et al. (2013): Megújuló energiaforrások. ELTE. Budapest.
2. Sljivav–Topic (2014) és Sljivav (2015).
3. Varjú Viktor et al. (2014): Napelemes energia és környezet. MTA KRTK Regionális Kutatások Intézete – Sveuciliste Josip Juraj Strossmayer u Osijeku Elektrotechnicki fakultet Osijek. Pécs-Eszék.
4. Kaboldy Eszter (2003): Fototermikus rendszerek. In: Farkas István (szerk.) Napenergia a mezőgazdaságban. Mezőgazda Kiadó. pp. 53–99.
5. Kaboldy Eszter (2003) pp. 53–99.
6. Kaboldy Eszter (2003) pp. 53–99.
7. Farkas István–Farkasné Fekete Mária (2003): Energiafelhasználás a mezőgazdaságban. In: Farkas István (szerk.) Napenergia a mezőgazdaságban. Mezőgazda Kiadó. pp. 16–36.
8. Giber János (2005): Megújuló energiák szerepe az energiaellátásban. B+V Kiadó, Budapest.
9. Varjú Viktor et al. (2014): Napelemes energia...

10. Farkas István (2004) továbbá és Bodok–Tóth (2010), illetve Szabó et al. (2010).
11. Salameh, Ziyad (2014): Renewable Energy System Design. Academic Press. Oxford.
12. Tamási Naperőmű weboldala. Letöltés ideje: 2016. szeptember 27. 12. (<http://tamasinaperomu.hu/haztartasi-kiseromu/>)
13. Varjú Viktor et al. (2014): Napelemes energia...
14. Newsweek 2016. 07. 06.
15. Híradó.hu 2016. 10. 03.
16. MNO.hu 2016. 10. 12.
17. Pálné Schreiner Judit (2013): Alternatív energiák hasznosítási megoldásainak vizsgálata. In: Buday-Sántha Attila (szerk.) Dél-dunántúli Régió fejlesztési II. kötet, Pécs, Hungary. pp. 466–505.
18. Híradó.hu 2016. 08. 29.; FN.hu 2016. 04. 28.
19. Signanini (2012) és Salameh, Ziyad (2014).
20. Giber János: (2005): Megújuló...
21. Lukács Gergely Sándor (2010): Megújuló energiák könyve. Szaktudás Kiadó Ház, Budapest.
22. Salameh, Ziyad (2014).
23. Kádár (2007) Kádár Péter (2007): Szélerőgépek Magyarországon. Új Mandátum Könyvkiadó. Budapest.
24. Tóth László (2004): Szélerőenergia: In: Sembery Péter–Tóth László (szerk.) Hagyományos és megújuló energiák. Szaktudás Kiadó Ház, Budapest. pp. 327–398.
25. Tóth László (2004): Szélerőenergia....
26. Ferenczi Ödön (2007): Áramtermelés nap-és szélerőenergiából. Cser Kiadó. Budapest.
27. MTA Energiastratégia Munkabizottság (2010): Megújuló energiák hasznosítása. Magyar Tudományos Akadémia, Budapest.
28. Tóth (2004) és Signanini (2012) és Szalai et al. (2010).
29. Lukács Gergely Sándor (2010): Megújuló...
30. MTA (2010): Megújuló...
31. Szalai et al. (2010).
32. Tóth (2004) és Signanini (2012).
33. Signanini (2012).
34. Kádár (2006) és Szalai et al. (2010).
35. EWEA (2013).
36. Kádár (2006).
37. Lukács Gergely Sándor (2010): Megújuló...
38. MTA (2010) és Szalai et al. (2010).
39. MAVIR (2014).
40. 382/2007. (XII. 23.) Korm. rendelet.
41. Lukács Gergely Sándor (2010): Megújuló...
42. Szlifka (2004).
43. Szlifka (2004) és Bartholy (2013).
44. Szeredi István et al. (2010): A vízenergia-hasznosítás szerepe, helyzete, hatásai. In: Magyar Tudomány 2010/8.
45. Bartholy (2014).
46. Szeredi, István (2015): Hydro Energy Potential in the Danube Region and in Hungary. In: Ortiz, Willington et al. (szerk.) Perspectives of Renewable Energy in the Danube Region. MTA KRTK RKL. Pécs. pp. 139–148.
47. Bruttó esés méterben kifejezve, mely a vízfolyam felső és alsó folyása közötti szintkülönbséget jelenti.
48. Szlifka Ferenc (2004): A vízierőenergia hasznosítása a nagyvilágban és környezetünkben. In: Sembery Péter–Tóth László (szerk.) Hagyományos és megújuló energiák. Szaktudás Kiadó Ház, Budapest. pp. 431–462. illetve és Lukács (2010): Lukács Gergely Sándor (2010): Megújuló energiák könyve. Szaktudás Kiadó Ház, Budapest.
49. Signanini, Patrizio et al (2012): Geotermikus energia In: Laczó Dániel (szerk.) A megújuló energiaforrások kézikönyve. Környezettudományi Központ, Budapest.

50. Szeredi István et al. (2010).
51. Szlifka (2004).
52. Acker Fabian (2009): Taming the yantze. In: Engineering & Technology Volume 4. Issue 4. pp 48–51. illetve Fáy (2014): Fáy Árpád (2014): A vízenergia hasznosításának nemzetközi helyzete, EU-s tervek. In: Magyar Tudomány 2014/07.
53. Ijjas István (2014) A vízenergia-hasznosítás tervezésére és működtetésére vonatkozó környezeti előírások In: Magyar Tudomány 2014/07.
54. Szeredi (2015).
55. Lukács Gergely Sándor (2010): Megújuló...
56. Mészáros (2014) illetve Gerse Károly (2014): A vízenergia-hasznosítás hozzájárulása a fenntarthatósághoz. In: Magyar Tudomány 2014/07.
57. Szlifka (2004), illetve Mészáros (2014), továbbá Szeredi (2015).
58. MTA (2010) és Gerse Károly (2014).
59. Mészáros (2014).
60. Szeredi (2014).

FELHASZNÁLT IRODALOM

- Acker, Fabian (2009): Taming the yantze. In: Engineering & Technology Volume 4. Issue 4. pp 48–51.
- Bartholy Judit et al. (2013): Megújuló energiaforrások. ELTE. Budapest.
- Bobok Elemér–Tóth Anikó (2010): A geotermikus energia helyzete és perspektívái. In: Magyar Tudomány 2010/8.
- EWEA – European Wind Energy Association (2013): Eastern winds Emerging European wind power markets.
- Farkas István (2004): Napenergia. In: Sembery Péter–Tóth László (szerk.) Hagyományos és megújuló energiák. Szaktudás Kiadó Ház, Budapest. pp. 281–326.
- Farkas István–Farkasné Fekete Mária (2003): Energiafelhasználás a mezőgazdaságban. In: Farkas István (szerk.) Napenergia a mezőgazdaságban. Mezőgazda Kiadó. pp. 16–36.
- Fáy Árpád (2014): A vízenergia hasznosításának nemzetközi helyzete, EU-s tervek. In: Magyar Tudomány 2014/07.
- Ferenczi Ödön (2007): Áramtermelés nap-és szélenergiából. Cser Kiadó. Budapest.
- Gerse Károly (2014): A vízenergia-hasznosítás hozzájárulása a fenntarthatósághoz. In: Magyar Tudomány 2014/07.
- Giber János (2005): Megújuló energiák szerepe az energiaellátásban. B+V Kiadó, Budapest.
- Ijjas István (2014) A vízenergia-hasznosítás tervezésére és működtetésére vonatkozó környezeti előírások In: Magyar Tudomány 2014/07.
- Kaboldy Eszter (2003): Fototermikus rendszerek. In: Farkas István (szerk.) Napenergia a mezőgazdaságban. Mezőgazda Kiadó. pp. 53–99.
- Kádár Péter (2007): Szélerőgépek Magyarországon. Új Mandátum Könyvkiadó. Budapest.
- Lukács Gergely Sándor (2010): Megújuló energiák könyve. Szaktudás Kiadó Ház, Budapest.
- MAVIR – Magyar Villamosenergia-ipari Átviteli Rendszerirányító ZRt. (2014): A Magyar Villamosenergia-rendszer közép- és hosszú távú forrásoldali kapacitásfejlesztése. Budapest.
- Mészáros Csaba (2014): A vízenergia-hasznosítás hazai lehetőségei és korlátozó tényezői In: Magyar Tudomány 2014/07.
- MTA Energiastratégia Munkabizottság (2010): Megújuló energiák hasznosítása. Magyar Tudományos Akadémia, Budapest.
- Pálfy Miklós (2003): Fotovillamos rendszerek. In: Farkas István (szerk.) Napenergia a mezőgazdaságban. Mezőgazda Kiadó. pp. 100–149.
- Pálné Schreiner Judit (2013): Alternatív energiák hasznosítási megoldásainak vizsgálata. In: Buday-sántha Attila (szerk.) Dél-dunántúli Régió fejlesztési II. kötet, Pécs, Hungary. pp. 466–505.
- Salameh, Ziyad (2014): Renewable Energy System Design. Academic Press. Oxford.
- Signanini, Patrizio et al (2012): Geotermikus energia In: Laczó Dániel (szerk.) A Megújuló energiaforrások kézikönyve. Környezettudományi Központ, Budapest.

- Sljivac D. and Topic D.(2014): The radiation energy of Sun. In: Solar energy and environment. Pécs-Osijek, Hungary-Croatia. pp. 11–12.
- Sljivac D. (2015): Solar Energy Resources in the Danube Region In: Perspectives of Renewable Energy in the Danube Region. Pécs, Hungary. pp. 257–256.
- Szabó S. et al. (2010): Risk adjusted financial costs of photovoltaics In: Energy Policy Vol 38. No. 7. pp. 3807–3819.
- Szalay Sándor et al. (2010): A szélenergia helyzete Magyarországon. In: Magyar Tudomány 2010/8.
- Szeredi István et al. (2010): A vízenergia-hasznosítás szerepe, helyzete, hatásai. In: Magyar Tudomány 2010/8.
- Szeredi István (2014): A piaci feltételek változásainak hatása. In: Magyar Tudomány 2014/07.
- Szeredi, István (2015): Hydro Energy Potential in the Danube Region and in Hungary. In: Ortiz, Willington et al. (szerk.) Perspectives of Renewable Energy in the Danube Region. MTA KRTK RKI. Pécs. pp. 139–148.
- Szlifka Ferenc (2004): A vízienergia hasznosítása a nagyvilágban és környezetünkben. In: Sembery Péter–Tóth László (szerk.) Hagyományos és megújuló energiák. Szaktudás Kiadó Ház, Budapest. pp. 431–462.
- Tóth László (2004): Szélenergia: In: Sembery Péter–Tóth László (szerk.) Hagyományos és megújuló energiák. Szaktudás Kiadó Ház, Budapest. pp. 327–398.
- Varjú Viktor et al. (2014): Napelemes energia és környezet. MTA KRTK Regionális Kutatások Intézete – Sveuciliste Josip Juraj Strossmayer u Osijeku Elektrotechnicki fakultet Osijek. Pécs-Eszék.
- FN.hu 2016. 04. 28. – Átadták Pécs 4,2 milliárd forintból épült naperőművét. Letöltés ideje: 2016. 10. 12. (<http://24.hu/fn/gazdasag/2016/04/28/atadtak-pecs-42-milliard-forintbol-epult-naperomuvet/>)
- Híradó.hu. 2016. 10. 03. – Napelemes járólappal – ha rálépnek, is áramot termel- Letöltés ideje: 2016. 10. 12. (<http://www.hirado.hu/2016/10/03/napelemes-jarolap-ha-ralepnek-is-aramot-termel/>)
- Híradó.hu 2016. 08. 29. – Átnapozta a nyarat a pécsi erőmű. Letöltés ideje: 2016. 10. 12. (<http://www.hirado.hu/2016/08/29/atnapozta-a-nyarat-a-pecsi-eromu/>)
- MNO.hu 2016. 09. 21. – Két oldaláról veszi a napfényt a magyar napelem. Letöltés ideje: 2016. 10. 12. (<http://mno.hu/gazdasag/ket-oldalarol-veszi-a-napfenyt-a-magyar-napelem-1362712>)
- Newsweek. 2016. 07. 06. – Route 66 to get high-tech highway makeover letöltés ideje: 2016. szeptember 27. (<http://europe.newsweek.com/route-66-solar-roadways-panel-highway-477984?rm=eu>)
- Tamási Naperőmű weboldala. Letöltés ideje: 2016. szeptember 27. 12. (<http://tamasinaperomu.hu/haztartasi-kiseromu/>)