

Renewable and Sustainable Energy Reviews, 12., 1712–1724. DOI: 10.1016/j.rser.2007.01.14.

Tar Károly (2009): *A magyarországi szélenergia potenciál meghatározásának megoldandó problémái*. MTA Környezettudományi Elnöki Bizottság Energetika és Környezet Albizottsága részére

Tóth Péter (2007): *Szélenergia-zajemissziója*. Előadás a Széchenyi István Egyetem Környezettudományi Konferenciáján, 2007. nov. 9.

Tóth Péter (2009): *A magyarországi szélenergia-hasznosítás legújabb eredményei*. Előadás a XIV. Országos

Energiatakarékosági Konferencia és Ausztriai Energiatakarékosági Szakvásáron. Sopron, 2009. február 26–27.

Tóth Péter – Bíró Dr. Kirsi Andrea (2009): *A szélenergia-hasznosítás környezetvédelmi és területfejlesztési összefüggései, követelményei*. Környezet és Energia Konferencia. Debrecen, 2009. május 8–9.

Varga Bálint – Németh P. – Dobi I. (2006): *Szélprofilvizsgálatok eredményeinek összefoglalása*. In: Dobi Ildikó (szerk.): *Magyarországi szél- és napenergia-ku-tatás eredményei*. OMSZ. 7–20.



A VÍZENERGIA-HASZNOSÍTÁS SZEREPE, HELYZETE, HATÁSAI

Szeredi István

a műszaki tudomány kandidátusa
Magyar Villamos Művek Zrt.
iszeredi@mvm.hu

Alföldi László

a földtudomány doktora,
nyugalmazott főigazgató
VITUKI

Csom Gyula

a műszaki tudomány doktora
BME Nukleáris Technikai Intézet
csom@reak.bme.hu

Mészáros Csaba

műszaki doktor
BME Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszék
meszaros@vit.bme.hu

Bevezetés

A tanulmány a vízenergia-hasznosítás helyzetével és szerepével kapcsolatban a tények és a látható trendek számbavételére vállalkozik. Ma a vízenergia *primer energiaforrásként* a világban megújuló forrásból előállított villamos energia többségét biztosítja, *rendszer szabályozási eszközként* pedig a megújuló energia hasznosítások rendszerbe illesztésének legkiforrottabb eszköze.

Ezzel szemben a magyar gyakorlat lényegében nemlétezőként kezeli a vízenergiát. A tárgyilagos helyzettünetelés kísérlete sem mindig mentes a szélsőséges megnyilvánulásoktól. A szakma háttérbe szorult és hallgat. A tapasztalatok és ismeretek hiánya mellett vélelmek, feltételezések keverednek a bulvársajtó eszköztárával. A tények iránt a fogadókézség sem látszik biztosítottnak. A rendszerváltás után húsz évvel megengedhetetlen, hogy a hazai vízenergia kérdése kizárólag politikai ügy legyen elfogulatlan szakmai elemzés nélkül.

Elfogadhatatlan, hogy a mai magyarországi villamosenergia-fogyasztás 10–12%-át kitevő hazai vízenergia-potenciál energetikai hasznosításáról úgy mondjon le az ország, hogy e lemondást nem alapozta meg energetikai, környezeti, vízgazdálkodási, hajózási, mezőgazdasági, gazdasági, nemzetközi jogi stb. szempontokra kiterjedő, tudományos igényű, komplex vizsgálat. Az sem indokolható, hogy a megújuló forrásból termelt villamos energia részarányának előirányzott növelésében a villamosenergia-fogyasztókra és a lakosságra valószínűleg a legkisebb gazdasági terhet hárító vízenergia-hasznosítás még vizsgálat tárgyát sem képezi. A vízenergia hasznosításának kérdésében több mint fél évszázada nem készült átfogó vizsgálat, pedig a műszaki, gazdasági és környezeti feltételek megváltoztak. A megalapozott, racionális álláspont kialakításához le kellene lépni a vélelmek, feltételezések és emlékek bázisáról. *Tudományos igényű, komplex vizsgálatokra van szükség.*

A vízenergia-hasznosítás lehetséges funkciói

A vízenergia hasznosítása a leghosszabb múltú a természeti erőforrások közül. A mechanikai energia hasznosításaként már az ókorban is jelen volt, a villamosenergia-szolgáltatásnak pedig a kezdetektől fontos szereplője. A vízenergia hasznosításának a villamosenergia-rendszerben betöltött szerepe alapján két lényeges funkciója különíthető el.

Primer megújuló energiaforrásként a vízenergia az áramszolgáltatás kezdetétől villamos energia előállítására szolgál. Jellegénél fogva szerepe a villamosenergia-ellátás terén elsődleges. A ma ismert trendek alapján fontossága e tekintetben a jövőben is hasonló marad. A klímavédelmi törekvések felértékeltek a vízenergia szerepét. A vízenergia ugyanis **megújuló és tiszta energia**. A *Kiotói Nyilatkozat*, majd a johannesburgi WSSD-világtalálkozó állásfoglalása értelmében a vízenergia hasznosítását növelni kell.

Termelés- és fejlesztéstámogató eszközként a vízenergia is bekerült a villamosenergia-szolgáltatás biztonságát támogató rendszerekbe, a termelőkapacitás és a csúcsidei igények közötti differencia áthidalására. A megfelelő tározókapacitású vízerőművek a csúcsidei teljesítményigények teljesítésére használhatók. Emellett a vízerőművek és a szivattyús energiátározók a rendszerirányítás gyors reagálású, flexibilis eszközeivé váltak.

Teljesítményük szerint a vízerőművek lehetnek nagy- és kisvízerőművek. A regionális rendszerek részét képező *nagyvízerőművek* eszközül szolgálnak a termelés egészének emisszió csökkentéséhez. A *kisvízerőművek* a decentralizált villamosenergia-termelés részét alkotják, és kulcsfontosságúak sok ország vidékfejlesztésében. A víztározó léte, nagysága szerint két fő csoportra bontható meg,

Az *átfolyó vízerőművek* a vízfolyáson érkező vízhozamot visszatartás nélkül áteresztik, lényeges tározó nélkül. A *tározós vízerőművek*hez a tervezett üzeműkhöz szükséges napi, heti vagy szezonális kiegyenlítést biztosító nagyságú tározó tartozik. Ennek speciális változata a *szivattyús energiátározó*, amelynek feltöltését nem, vagy nemcsak természetes hozzáfolyás, hanem szivattyúzás biztosítja.

A víz hasznosítása primer energiaforrásként

A vízenergia a jelenleg legnagyobb mértékben hasznosított megújuló villamosenergia-forrás. Több mint 150 országban játszik meghatározó szerepet a villamosenergia-szolgáltatás terén, és ötvennél több országban a fogyasztás több mint felét a vízenergiára alapozzák.

A vízenergia hasznosítása primer energiaforrásként jelenleg a világ villamosenergia-termelésének ötöd-hatod részét teszi ki a termelés vagy a beépített teljesítmény arányában. A beépített teljesítmény 2007-ben elérte a 850 GW-ot, és a termelt villamos energia 3045 TWh volt. A jelenleg hasznosított vízenergia kevesebb mint a fele a gazdaságilag hasznosítható mennyiségnek, és kb. negyede a műszakilag hasznosíthatónak. A meglévő kapacitás és a termelés kb. fele Európában és Észak-Amerikában van. Az arányok folyamatosan változnak, főleg az Ázsiában és Dél-Amerikában épülő vízerőművek miatt.

Egyes országokban a vízenergia-hasznosítás kiemelt ütemű fejlesztésével más energiahordozók kiváltását teszik lehetővé, például Ausztria a nukleáris energiát, Norvégia pedig a földgáz villamosenergia-termelési célú használatát helyettesíti. A világ vízenergia-termelésének több mint felét öt ország (Brazília, Kanada, Kína, Oroszország, USA) végzi.

A vízerő-hasznosítás fejlődése az egyes kontinenseken és régiókban eltérő irányú, de

sok ponton azonos problémák kezelését teszi szükségessé. A nagyobb teljesítmények megvalósításánál nem kerülhető meg a folyók hasznosítására alapozott más gazdasági ágak fejlesztése, illetve az azokkal való kölcsönhatások kérdése. Az energiatermelés kiegészítéseként az árvízvédelem, az öntözés, a vízi közlekedés, a helyi infrastruktúra fejlesztése mellett a környezeti és szociális körülményekhez való illeszkedést kell biztosítani.

A nagy ütemű fejlődést jelzi, hogy egyetlen évben (2005-ben) 18 GW új vízerőműkapacitás került üzembe. A 2007. évi adatok szerint a megújuló forrásból termelt villamos energiának kb. 87%-a vízenergiából származott. Európában 2007-ben 2,4 GW teljesítményű vízerőmű állt építés alatt, tervezési fázisban pedig 11 GW-nyi. Az előbbi adatok csak a vízenergiát primer energiaforrásként hasznosító vízerőművekre vonatkoznak, és nem tartalmazzák a szivattyús energiátározókat, melyekből csak Svájcban és Ausztriában több mint 10 GW van építés, illetve tervezés stádiumában.

A belátható jövőben a vízenergia a megújuló energia hasznosításának meghatározó eleme marad. Az US Energy Information Administration (EIA) prognózisa szerint a vízenergia 2030-ig megőrzi domináns szerepét a megújuló forrásból termelt villamos energia mennyiségében, bár a jelenlegi 83%-ról 71%-ra csökken a részaránya.

Az elmúlt időszakban a vízenergia-hasznosítás volumene folyamatosan növekedett, 1980 után átlagosan évi 2,3%-kal. Az EIA prognózisa szerint a vízenergia-hasznosítás növekedési üteme hosszú távon átlagosan évi 2% lesz. Magasabb növekedési ütem a fejlődő országokban, illetve azokban az iparilag fejlett országokban várható, ahol megfelelő nagyságú hasznosítatlan vízerőforrások állnak ren-

delkezésre. A vízerő-hasznosítás feltételezett növekedése 2030-ig összesen 500 GW új teljesítmény megvalósítását teszi szükségessé, ami a termelés 1772 TWh/év ütemű növekedését eredményezi.

A vízenergia hosszú távon rendelkezésre álló energiaforrás, mert a műszakilag hasznosítható vízerőforrás legfeljebb egynegyede hasznosított. A legnagyobb készletek Ázsiában vannak, ahol a tervezett vízerőművek teljesítménye 224 GW. Afrikában 24 GW, Dél-Amerikában 65,7 GW, Észak-Amerikában 18,4 GW teljesítményű új vízerőmű létesítésével számolnak.

A vízerő-hasznosítás fejlesztésének hajtóerejét a vízerőmű-beruházás hosszú távú előnyei jelentik, közülük a következők emelhetők ki:

- A vízenergia-hasznosítás eszközei kiforrottak és sokszorosan kipróbáltak. Megvalósításuk műszaki kockázatai nem jelentősek.
- A vízerőmű üzeme gazdasági szempontból stabil, termelési költségei alacsonyak, az éves üzemköltségek nem jelentősek.
- A vízerőművi villamosenergia-termelés gazdasági kockázata alacsony, az üzem független a tüzelőanyag ármozgásaitól, hosszú távú árstabilitást biztosítva.
- A létesítmények és berendezések élettartama más erőműtípusokénál hosszabb, az élettartam egyszerű eszközökkel és viszonylag olcsón megnövelhető.
- A vízenergia-hasznosítás jelentős mértékben vesz részt az üvegházhatást okozó gázok kibocsátásának csökkentésében. A vízenergia-hasznosítás megvalósítása helyi eszközöket és kivitelezést igényel, így a helyi foglalkoztatottságot javítja.
- A vízenergia tiszta, megújuló természeti erőforrás, nincs számottevő környezeti

hatása (káros emissziók esetleg egyes hasznosítási módoknál jelentkezhetnek). A vízenergia-hasznosítás jövőbeni alakulásának becslésénél két lényeges körülmény kölcsönhatását kell számításba venni: egyrészt a folyók hasznosítható vízhozamának – főként a klímaváltozás következtében történő – változását, másrészt a meglévő vízenergia-összetételének és funkcióinak változását. A várható fejlődésben dominálnak különböző politikai törekvések és gazdasági döntések is, amint azt az EU és USA klímapolitikája mutatja. Kiemelhetők az USA-ban kibontakozó nagy volumenű tervek a vízenergia primer energiaforrásként történő hasznosítására, amelyek megvalósításától az USA hétszáz ezer új munkahelyet remél. Európában alapvetően új helyzetet teremtett a vízenergia-hasznosítás területén az EU direktívája, amely szerint el kell érni, hogy a megújuló energia részaránya 2020-ig 20%-ra nőjön.

Az egyes országokra háruló megújulóenergia-fejlesztési kötelezettségek teljesítéséhez például Spanyolországban és Portugáliában nagy vízerőművek építése kezdődött el.

A bolgár és a román kormány úgy határozott, hogy kötelezettségei teljesítéséhez a bolgár-román közös Duna-szakasz vízenergia-hasznosítását használja fel. A tervezett négy vízerőmű összesen 1330 MW teljesítményű, előirányzott termelése 7,70 TWh/év. A közölt adatok szerint többcélú hasznosítási projektet terveznek, amely a vízenergia-hasznosítás mellett magában foglalja a hajózást, az árvízvédelmet, a közlekedésfejlesztést és az öntözést. A projekt megoldást kínál a hajózási feltételek megbízható, folyamatos rendelkezésre állására az EU által a VII. számú európai közlekedési folyosójává nyilvánított Északi-tenger és a Fekete-tenger közötti vízi út bolgár-román közös Duna-szakaszán.

Szerbia és Németország kormánya 2009 novemberében megállapodott a Duna szerbiai szakaszán tervezett vízerőmű-létesítés közös előkészítéséről. *E projektek megvalósulásával a Rajna–Majna–Duna vízi úton folyó hajózás megmaradó leghosszabb szűk keresztmetszetévé a Duna magyarországi szakasza válik* (a lényegesen rövidebb Bécs–Pozsony és Vilshofen–Straubing szakaszok mellett).

Az EU törekvései, a NATO stabilizációs programja és a Világbank, IFC támogatása együttesen nagyléptékű fejlesztési program elindítását eredményezték a balkáni országokban (köztük Albániában, Boszniában, Koszovóban, Macedóniában, Szerbiában).

A legnagyobb ismert európai terv a 700 km hosszú hajózási csatornarendszer megvalósítására irányuló Duna–Tiro–Adria projekt, amely a Rajna–Majna–Duna vízi úthoz Passaunál csatlakozva, az Északi-tengert az Adriával köti össze. A tervezett vízenergia-hasznosító kapacitás 3,5 GW, a beépített szivattyút teljesítmény 2 GW. A beruházást előkészítő brit cég szerint az összesen 5,5 GW szabályozó kapacitás elég öt atomerőművi nagyblokk, vagy 2500, egyenként 2 MW teljesítményű szélturbina rendszerbe integrálásához.

A vízenergia hasznosítása szabályozó teljesítményként

A villamosenergia-termelési kapacitás és az igények folyamatos egyensúlyának biztosítása és a változó nagyságú különbségek áthidalása szükségessé teszi a gyorsan mobilizálható és a villamosenergia-szolgáltatás biztonságát támogató rendszer kialakítását. E téren a műszaki és gazdasági szempontból is kedvező megoldás, a szivattyús energiatároló létesítése vált a nemzetközi gyakorlat fő irányává.

A terhelési minimumok kezeléséhez és egyéb követelmények teljesíthetőségéhez

szükséges rendszerszabályozási feladatokra alkalmas eszközök többsége a villamos energia tárolását alkalmazza. Elvileg többféle tárolási mód áll rendelkezésre. Ezek összehasonlítása a következőt mutatja:

A lehetséges erőműnagyság, a műszaki kiforrottság és a piac értékítélete szempontjából a szivattyús energiatároló bizonyult legkedvezőbbnek. Az üzemelő szivattyús energiatárolók száma világvizonylatban eléri a háromszázötvenet, a legnagyobb erőművek teljesítménye pedig a 2,5 GW-ot. A második helyre sorolható sűrített levegős energiatárolóból mindössze kettő létesült a világon, teljesítményük nem haladja meg a 200 MW-ot. Háttérbe szorulását a magas geológiai követelmények, a szabályozási lassúság, a földgázfogyasztás és a szivattyús energiatárolóhoz hasonlítható víztároló igénye egyaránt indokolják.

Az élettartam és a ciklushatásfok szempontjából ugyancsak a szivattyús energiatárolás emelhető ki. Ciklushatásfokát csak egyes akkumulátortípusok hatásfoka haladja meg, de azok megengedhető terhelési ciklusainak száma mindössze töredéke a szivattyús energiatárolónál megengedettnek. A sűrített levegős energiatárolás ciklushatásfokban és az élettartamát meghatározó terhelési ciklusok számában egyaránt elmarad a szivattyús energiatárolókétól. A rendszerszabályozási szolgáltatásokat biztosító szivattyús energiatárolók évenkénti üzemmódváltásainak száma eléri a gépenkénti tíz-tizenötöt, a teljes tározós vízerőműveké a negyvenötöt, és ezzel az akkumulátorok csak néhány ezres élettartam alatti ciklusszáma állítható szembe.

A kiadott villamos energiára vetített egységköltség szempontjából ugyancsak a szivattyús energiatárolást tartják legkedvezőbbnek. A sűrített levegős energiatárolás egységköltségeinek szintje kb. három-négyszer, a többi

alternatíva egységköltsége egy nagyságrenddel magasabb.

A szivattyús energiatároló *részvétele a rendszerszabályozásban* a gyakorlatban szokásos és előnyösen teljesíthető funkció. A lehetséges alternatív megoldások esetében ilyen funkció nem biztosítható, vagy gyakorlata nem alakult ki. Sűrített levegős energiatároló esetében a terhelés felvételének időtartama normál esetben 8–10 perc, szükséghelyzetben 4–5 perc. A szivattyús energiatárolók felterhelési ideje viszont 10–20 másodperc közötti, egyes esetekben 6 másodperc. A terheléskövetési és terhelésváltoztatási képesség tekintetében a szivattyús energiatároló nagyságrendekkel magasabb műszaki minőséget kínál.

Meg kell azonban jegyezni, hogy kizárólag a kis terhelésű időszakban vásárolt és csúcsideben értékesített villamos energia alapján az üzem gazdasági szempontból gyenge. A villamosenergia-árprognózisok szerint a napi-heti terhelési menettrend kiegyenlítése energiavásárlással és -értékesítéssel, gazdasági szempontból gyenge szolgáltatás marad a jövőben is. Ilyen működés alapján kevés esély van finanszírozható projekt kialakítására. Az alternatív megoldások magasabb beruházási költségeik miatt még kedvezőtlenebbek. Rendszerszabályozási szolgáltatásokra az alternatív energiatárolási módok nem is képesek megfelelő feltételekkel. *Ezért önmagában az energiatárolást és a napi-heti terheléskiegyenlítést alapul véve, céltalan elvi vitának tűnik az alternatív lehetőségek bármelyikét favorizálva más megoldást keresni.*

Az utóbbi évtizedekben a szivattyús energiatároló a frekvenciaszabályozás és a gyors reagálású tartalékbiztosítás hatékony eszközzé vált. Ma már a nemzetközi gyakorlatban a szivattyús energiatároló leglényegesebb funkciója a szabályozó teljesítmények bizto-

sítása a rendszer működéséhez, a folyamatos üzembiztonság megfelelő szintjéhez. Más alternatíváknál kedvezőbb dinamikai tulajdonságokkal, rövidebb mobilizálási idővel képes a rendszerszintű szolgáltatások, köztük a szekunder és perces szabályozási teljesítmények biztosítására, de számításba vehető üzemzavari tartalékként is.

A villamosenergia-piac liberalizálása, a nagyblokkos erőműépítés és a megújuló energiaforrások hasznosításának hármasszorítása felértékelte a flexibilis üzemű szivattyús energiatárolókat. Jelentős beruházások vannak folyamatban:

- Ausztriában öt új szivattyús energiatároló épül, és további öt előkészítése van folyamatban, összesen 3,6 GW teljesítőképességgel.
- Svájcban folyik a Cleuson-Dixence bővítése, elkezdődött a Nant de Drance és a Linthal II szivattyús energiatároló építése. Több mint tíz helyszínen összesen 6,27 GW szivattyús energiatároló kapacitás építése, ill. előkészítése van folyamatban.
- Litvániában folyik a Kruonis szivattyús energiatároló bővítése 1,6 GW-ra.
- Szlovéniában épül az AVCE szivattyús energiatároló, és előkészítés alatt áll egy újabb szivattyús energiatároló projekt.
- Portugáliában üzembe került a Venda Nova II, és EU-hozzájárulással épül a Baixo Sabor, előkészítés alatt van a Venda Nova III.
- Spanyolországban épül a 852 MW-os La Muela II, a 177 MW-os San Esteban II és a 400 MW-os Moralets.
- Németországban üzembe került az 1 GW-os Goldistahl, modernizálás folyik több erőműben. Épül a Vianden III.
- Lengyelországban modernizálták mind a hét szivattyús energiatárolót.

- Az USA kormánya 2009-ben nagy volumenű programot kezdeményezett szivattyús energiatárolók (az első ütemben húsznál több létesítmény) gyorsított ütemű építésére. A teljes program 31 GW új szivattyús energiatároló építését irányozta elő.
- Folytatódik a kínai, az indiai, a japán és a dél-afrikai nagy ütemű fejlesztés.

Külön említendő, hogy a többnyire földalatti szivattyús energiatárolók környezetbe illesztése terén eredményes és elfogadott módszerek alakultak ki a nemzetközi gyakorlatban. Így gyakran védett természeti területen valószínűleg meg, például a Fekete-vág az Alacsony-Tátrai Nemzeti Parkban, a Foyers a Loch Ness-tavon, az Imiachi (Imaichi), a Numappara és a Simogó (Shimogo) a Nikkó (Nikko) Nemzeti Parkban, a *Dlouhý Stráně* a Jeseník-hegység tájvédelmi körzetében és az EU hozzájárulásával jelenleg fokozottan védett természeti területen épül a Baixo Sabor Portugáliában.

A szivattyús energiatárolók létesítése és használata terén tehát világszerte gyorsuló, nagy ütemű fejlesztések vannak folyamatban. A piac értékítéletét mutatja, hogy a szivattyús energiatárolók váltak a rendszerirányítás leghatékonyabb, gyors reagálású, flexibilis eszközeivé.

Vízenergia-hasznosítás és fenntartható fejlődés

A primer energiaforrásként történő hasznosítás gazdasági feltételei • A különböző erőműtípusok beruházási és termelési költségei csak bizonyos közelítésekkel hasonlíthatók össze, mert a helyi adottságok az egyes erőműtípusokon belül is számottevő sokféleséget eredményeznek. Az utóbbi néhány év régiónkra is jellemző költségadatai a következőket mutatják:

A vízerőművek fajlagos beruházási költsége tag határok között változhat, a helyi adottságtól, a kapacitásnagyságtól, a tározó térfogatától és az infrastruktúra-fejlesztési igényektől függően. Például a Silistra és Călărăsi között, a Dunán tervezett vízerőmű fajlagos beruházási költsége 2265 EUR/kW. A régióban a koncesszió megszerzésére irányuló tenderekben szereplő Zhur kb. 700 EUR/kW.

A vízerőművek éves karbantartási és üzemanyagköltségeinek átlagos összege kisebb, mint az atomerőműveké, és sokkal kisebb, mint a gáztüzelésű erőműveké. A Nyugat-Balkán országaiiban 2009-ben vizsgált esetekben a villamosenergia-termelés önköltsége 8–10 EUR/MWh közötti volt. A termelés önköltsége alapján a vízenergia-hasznosítás hosszú távon is versenyképesnek ítéhető. Ár-előnye még egyértelműbb, ha a fosszilis energiahordozóknál figyelembe vesszük a CO₂-kibocsátás költségnövelő hatását.

A vízenergia hasznosítása megfelelő létesítési feltételek esetében az egyik legkisebb termelési költségű villamosenergia-termelési mód, a technológia egyszerűségének és a hosszú élettartamnak köszönhetően hosszú távú árstabilitást és megbízható előretervezhetőséget eredményezve. Többnyire nem támogatásigényes, képes az önfinanszírozásra.

A több mint száz év gyakorlatot maga mögött tudó vízenergia-hasznosítás jól kipróbált, alacsony kockázattal megvalósítható technológia, amely jellemzően helyi tudásra és munkaerő-használatra alapozható. A megvalósításához felhasznált helyi eszközök és munka aránya elérheti a 80%-ot, szemben más erőműtípusokkal, ahol ez az arány mindössze 20% körüli. A helyi, belföldi forrás hasznosításával erősíti az energiafüggetlenséget. A piaci értékítéletet jellemzi a meghirde-

tett vízerőmű-létesítési koncessziók iránti magas érdeklődés.

Gazdasági szempontból kiemelhető, hogy a vízenergia-hasznosítás magában hordozza a többcélú vízhasznosítás és az infrastruktúra-fejlesztés feltételeinek megteremtését. A víztározók általában többféle feladatot látnak el az élelmiszer-termeléshez szükséges víz és az ivóvíz biztosításától kezdve a folyószabályozáson és a vízi közlekedés feltételeinek biztosításán keresztül az árvízzel szembeni biztonság növeléséig. Pozitív ökológiai hatása is lehet, mivel a duzzasztással vizet juttathatnak a vizes élőhelyekre, amire számos példa található Ausztriában és Németországban.

A szabályozó teljesítményként való használat gazdasági feltételei • A szivattyús energiatároló megvalósítása három fő üzleti modell alapján vizsgálható.

A rendszerérdekű szivattyús energiatároló megvalósításában a rendszerirányító a leginkább érdekelt, ezért az ő kezelésébe és esetleg tulajdonába kellene rendelni azt. *(A mai magyar jogszabályi környezet a rendszerérdekű modell alkalmazását nem teszi lehetővé.)*

A portfólióhatás kiaknázására és a villamosenergia-termelő portfólió üzemének optimalizálására szolgáló szivattyús energiatároló megvalósítására sok példa van a világon (a közeli országokban pl. a ČEZ és a Verbund szivattyús energiatárolói). A portfólióhatás kiaknázására szolgáló szivattyús energiatároló létesítését előirányozhatja egy megfelelő portfólióval rendelkező cég vagy cégcsoport.

A piaci alapon működő, független modellre példa az Egyesült Királyság First Hydro Co. cége, ahol a szivattyús energiatárolók kapacitását a piacon, illetve a spot piacon értékesítik. Az ilyen projekt megvalósítása a piaci körülményekhez igazodik. A meghatározó piaci elemek közé tartozik a csúcsidei és völgy-

idei energia ára, a rendszerszintű szolgáltatások állásának díja, a kiegyenlítő energia ára és a rendszerszintű szolgáltatások iránti igény.

A magyar villamosenergia-rendszerben a piaci alapon működő modell látszik alkalmazhatónak.

A szivattyús energiatároló létesítésének beruházási költsége a helyi adottságoktól és a kiegészítő fejlesztési igényektől függően tág határok között változhat. A jelenlegi árakon 600–950 EUR/kW közé esik a reálisan megvalósítható beruházások fajlagos költsége. Az utóbbi évtizedben megvalósított vagy elindított néhány európai szivattyús energiatároló beruházásának fajlagos költségadatai a következők: Waldeck (Németország) 714 EUR/kW, Goldisthal (Németország) 613 EUR/kW, Argess (Svájc) 833 EUR/kW, Limberg II (Ausztria) 760 EUR/kW.

Az éves üzemi és karbantartási költségek rendkívül alacsonyak, a kis területre koncentrált és többnyire nagyblokkos létesítmények üzemi költségei a vízerőművek üzemi költségeinél általában kisebbek. Szemben a vízerőművekkel, ahol a természeti erőforrás (a víz) alacsony költséggel vagy díjtalanul áll rendelkezésre, a szivattyús energiatároló éves költségeit nagyságrendileg a töltő energia beszerzésének és beszállításának költsége határozza meg. Utóbbi alapvetően függ a szivattyús energiatároló funkciójától és az adott régió villamosenergia-piaci lehetőségeitől.

A rendszerből felvett és a rendszerbe visszaadott energia mennyisége és aránya a különböző veszteségek hatására minden tárolási mód esetén más és más. A szivattyús energiatárolók terén bekövetkezett technológiai fejlődés eredményeként az új létesítmények elméleti ciklushatásfoka legalább 80%.

A szivattyús energiatárolók gazdasági értékével kapcsolatban gyakran megalapozat-

lan következtetésekre vezet az energiatárolás ciklushatásfokának helytelen értelmezése. A *ciklushatásfok értékének* meghatározása és a *hatásfok megfelelőségének* értékelése egyaránt félrevezető lehet.

A *ciklushatásfok számított elméleti értéke* általában az egy teljes feltöltési és leürítési ciklus összes veszteségét foglalja magában. A gyakorlati értékek azonban a szivattyús energiatároló tényleges használatától és az üzem prioritásaitól függenek. A meghatározó karakterisztikák többnyire nemlineárisak, és a teljes feltöltés-leürítés periodikus ismétlődése rendkívül ritkán fordul elő. A tényleges hatásfok a meghatározott időn – például egy éven – belül vásárolt és kiadott villamosenergia-mennyiség arányával jellemezhető. A *gyakorlati értékek* már az 1980-as években is 4–5%-kal magasabbak voltak a számított elméleti értékeknél.

A *ciklushatásfok megfelelőségének* objektív mérőszámát a szivattyús energiatárolóból biztosított szolgáltatás és a lehetséges alternatív megoldás költségeinek összehasonlítása eredményezheti. A rendszerszabályozás biztosítása terén a szivattyús energiatároló a meglévő és a tervezett földgázüzemű berendezésekkel versenyezhet. A rövid mobilizálási idő miatt a földgáztüzelésű blokkok folyamatosan részterheléssel üzemelve képesek a fel- és leszabályozásra. A földgáztüzelésű blokkok részterhelésű üzemének két fő gazdasági következménye: az alacsonyabb hatásfokából eredő többletköltség és a folyamatos részterhelés melletti kényszertermelés értékesítésének kereskedelmi kockázata és vesztesége.

Az előbbiek azt mutatják, hogy gazdasági szempontból nincs valós versenyhelyzet a szivattyús energiatároló és az alternatív megoldások között. Az természetesnek mondható, hogy műszaki összehasonlíthatóság sincs,

mert a szabályozási dinamika a szivattyús energiatároló esetén több nagyságrenddel jobb.

A primer energiaforrásként történő hasznosítás környezeti feltételei • Minden infrastruktúra-fejlesztés esetén elkerülhetetlenek bizonyos ökológiai hatások. A vízenergia-hasznosítás környezeti hatásainak vizsgálatánál egyrészt mérlegelni kell a helyettesítő alternatív villamosenergia-termelési módok alkalmazásának hatásait, másrészt vizsgálni kell a megvalósításból eredő ökológiai hatásokat és azok mérsékelhetőségét.

Az EU Stratégiai Környezeti Vizsgálat Irányelve (2001/42/EK irányelv) értelmében környezeti vizsgálatot kell végezni minden mezőgazdasági, erdészeti, halászati, energetikai, közlekedési, hulladékgazdálkodási, vízgazdálkodási, távközlési, idegenforgalmi, területrendezési és földhasználati tervvel és programmal kapcsolatban.

A Víz Keretirányelv (VKI) (2000/60/EK) az EU új vízpolitikájának kereteit határozza meg. A vizeket érintő minden emberi beavatkozásnak, így a vízerő-hasznosításnak is összhangban kell lennie a VKI előírásaival, amelynek fő környezeti célkitűzése a vizek jó állapotba hozása 2015-ig. Ez a felszíni vizek esetében a jó ökológiai és kémiai állapotot jelenti. A VKI természetesen nem tiltja a duzzasztóművek vagy más energetikai célú létesítmények építését, de a szigorú környezetvédelmi szempontok betartását kötelezővé teszi.

A gátak, illetve a duzzasztók lényeges emberi beavatkozást jelentenek a hidrológiai és ökológiai rendszerekbe. Ez időben és térben széles tartományban változtathatja meg az ökoszisztémák megszokott feltételeit. A vízi ökoszisztémák reakciója sokféle, a létesítmény kialakítása, működtetésének módja, a klimatikus viszonyok, a hordalékszállítási feltételek stb. függvényében.

Az utóbbi évtizedekben kiemelt figyelmet kaptak a vízenergia-hasznosítás negatív hatásai: a földterület-használat csökkenése, a faunára és flórára gyakorolt hatások, és a folyók vízjárásának változása. A vízenergia-hasznosítás terén hosszú megfigyelési időszak tapasztalatai halmozódtak fel, és a különböző szakterületek művelői kutatják a hatásokat a folyók ökológiai feltételeire, valamint a legjobb védekezési módokat a jelentkező hatásokkal szemben. Az erőfeszítések eredményeként a hatások elkerülésére vagy mérséklésére eredményes stratégiák alakultak ki.

A környezeti megfontolások beépítése a tervezésbe és az üzembe ma már többé-kevésbé standard gyakorlat, ennek ellenére éppen a sokféleség következtében előfordulhat, hogy az nem minden esetben teljesen hatékony. Összességében az új és a meglévő létesítményeknél elért eredmények környezeti javulásra vezettek. Példaként említhető a természetvédelmi területté vált néhány rendszer.

A környezeti kapcsolatok néhány szempontja és a lehetséges intézkedések:

- *A vízminőség változása a duzzasztás következtében.* Megfelelő állapotfelvétellel a potenciális problémák előzetesen azonosíthatók, és kijelölhető a szükséges megoldás.
- *A hordalékszállítás változása és az erózió.* A hordaléklerakódás a hosszú távú működőképességet korlátozza, a duzzasztás alatti folyószakaszon pedig eróziót, a meder degradálódását eredményezheti. Ezek mérséklésére alkalmas megoldások alakultak ki.
- *Az alvизoldali hidraulikai feltételek változása.* A tervezett működéstől függően csökkentheti a biodiverzitást. Az alvизoldali ökológiai vízigény biztosításának átláthatónak kell lennie.

- *Az építés közbeni hatások.* Szervezéssel, megfelelő intézkedésekkel a minimumra kell csökkenteni az építés közbeni környezeti hatásokat. Az építést követően rehabilitációra és a fauna zavarásának mérséklésére van szükség.
- *A ritka vagy veszélyeztetett egyedek.* Ezeket azonosítani kell az építést megelőzően. Ha a változás elkerülhetetlen, a megmaradó élőhelyek védelmét biztosítani kell, akár az élőhelyek áthelyezésével.
- *A halak és a vízi fauna átjárása.* A vízi fauna átjárását a folyó mentén már a tervezés fázisában ki kell alakítani. A tömeges halvándorlás szükségessé teheti a turbinákon áthaladó halak életben maradásának biztosítását. A korszerű technológiák ehhez rendelkezésre állnak.
- *Kártevők, fertőzések.* A fertőzés lehetőségét a létesítés előtt fel kell tární, és biztosítani kell a veszély csökkentését.
- *Környezetirányítás.* Általában a vízerőművek megfelelő, auditált környezetirányítási rendszert alkalmaznak, amely effektív intézkedéseket tartalmaz az üzem során jelentkező környezeti problémákra. Az ehhez tartozó monitoring biztosítja a környezetirányítás folyamatos javulását.

Nem minden környezeti hatás szükségszerűen negatív. Ha az építés befejeződött és az állapot stabilizálódott, gyakran a természetes tavakban szokásoshoz hasonló feltételek alakulnak ki. Ez előnyös lehet a nyugodt vízi feltételekhez szokott élővilág alakulására. Különösen kedvező hatása lehet a madarakra, amint azt a kiskörei víztározón kialakult állapot bizonyítja.

Más megközelítésben a villamosenergia-termelés minden módja kiválthat negatív hatásokat. Ezért a környezeti következmények vizsgálatának az alternatív villamosener-

gia-termelési lehetőségek esetleges környezeti hatásaival való összehasonlításon kell alapulnia. Egy összehasonlító vizsgálat szerint a vízenergia hasznosításának súlyozott környezeti hatásai egy kWh villamos energiára vetítve háromszázszor kisebbek, mint a lignitből termelt villamos energia esetén, kétszázötvenszer kisebbek, mint a szén- és olajtüzelésű erőművek termelésénél, és ötvenszer kisebbek, mint a földgáztüzelésű erőműveknél.

A fosszilis üzemanyag használatán alapuló villamosenergia-termelés az ökoszisztémákat nagyszámú emisszióval terheli (CO₂, SO₂, NO_x, por, nehézfém és egyéb egészségre ártalmas anyagok). A globális felmelegedés és a szennyezések felhalmozódása az egyéb negatív hatások mellett a talaj és a víz elsavasodását okozza. Sok országban a vízenergia az egyetlen alternatíva a szénnel szemben a szennyezések elmaradása és a bioszférára gyakorolt kis hatása miatt.

A vízenergia a világ villamosenergia-szükségletének kb. 19%-át szolgáltatja, főként fosszilis tüzelőanyagú hőerőműveket szorítva ki. Az üvegházhatású gázok így elmaradt kibocsátása lényegében megegyezik a világ összes személyautója által kibocsátott szennyezés nagyságával.

A szabályozó teljesítményként történő használat környezeti feltételei • A vízenergiára megfogalmazott általános jellemzéstől eltérően a vízerőművek élővizeken okozott környezeti hatásai általában a szivattyús energiatározók esetén nem jelentkeznek. A szivattyús energiatározónak üzem közben saját anyagfelhasználása nincs, nem termel hulladékot, nem terheli saját emissziókkal a környezetét, és kicsi a területigénye. A környezeti elemek összességére vonatkozóan minimális környezeti hatásokkal és zavarással jár. Zárt rendszer alkalmazásával ez szűk területre

korlátozható. A környezet- és természetvédelmi követelmények általában egyszerűen teljesülnek és teljesíthetők. Az erőmű jelenléte az üzem során, különösen a földalatti elhelyezés esetén, a környezetében észrevehető. A technológia kiforrott és sokszorosan kipróbált.

Üzeme a rendszer egészének hatásfokát javítja, a rendszer erőműveiben jelentkező hatásfok-növekedés az üzemanyag-felhasználás és az emisszió csökkenését eredményezi, biztosítva a legkisebb emisszióval járó villamosenergia-termelés lehetőségét.

A szivattyús energiatározó lehetővé teszi a környezeti szempontból tiszta villamosenergia-termelés részarányának növekedését.

A vízenergia-hasznosítás hatása a fenntartható fejlődésre • Az UNESCO által létrehozott International Hydropower Association (IHA) szerint a vízenergia-hasznosítás fenntarthatóságra gyakorolt hatásának leglényegesebb tíz tényezője a következő:

- *A vízenergia megújuló energiaforrás.* A vízerő-hasznosító projekt – kis vagy nagy, átfolyó vagy tározós vízerőmű – a lefolyó víz energiáját – azt nem kimerítve – hasznosítja villamos energia előállítására.
- *A vízenergia támogatja más megújuló források hasznosítását.* A tározós vízerőművek egyedülálló üzemi rugalmasságot kínálnak, azonnal reagálva a villamosenergia-igény ingadozásaira. A vízenergiát rugalmassága és tárolókapacitása hatásos megoldássá teszi az egyéb megújuló energiaforrások (például a szél- vagy a napenergia) természeti feltételektől függően termelő üzemének támogatásában.
- *A vízenergia elősegíti az energetikai ellátás biztonságát és az árstabilitást.* A folyók vize belföldi forrás, és nem befolyásolják a piaci áringadozások. A rugalmassága és

megbízhatósága segíti a hőerőművek üzemének optimalizálását.

- *A vízenergia részt vesz a víz tárolásában.* A vízerőművek tározói összegyűjtik a csapadékvizet, ami felhasználható öntözésre vagy ivóvíz-szolgáltatásra. A víz tárolásával megvédik a vízáradó rétegeket a kimerüléstől, és mérséklik az árvizekkel és az aszályokkal szembeni sebezhetőségünket.
- *A vízenergia javítja a villamos hálózat stabilitását és biztonságát.* A vízenergiából előállított villamos energia minden más forrásnál gyorsabban kapcsolható a hálózatra. Kiemelkedően alkalmas a terhelésváltozások követésére, a rendszerszolgáltatások nyújtására, valamint a villamosenergia-termelés és -fogyasztás közötti folyamatos egyensúly biztosítására.
- *A vízenergia segíti a klímaváltozás elleni küzdelmet.* A vízerő-hasznosítás – megfelelő kialakítása esetében – az erőmű életartama alatt rendkívül kis mennyiségű üvegházhatású gázt bocsát ki a környezetbe. A gáz-, szén- és olajtüzelésű erőművek kiváltásával így csökken az üvegházhatást okozó gázok kibocsátása. A vízenergia tehát lassítja a globális felmelegedést.
- *A vízenergia csökkentheti a környezetszennyezést.* A vízerőművek nem termelnek légköri szennyezést, sem mérgező hulladékot. Gyakran a vízenergia fosszilis tüzelőanyagú villamosenergia-termelést vált ki, ezáltal csökkentve a savas eső és a szmog előfordulását.
- *A vízenergia jelentősen gyorsítja a fejlődést.* A vízerőművek létesítményei villamos energiát, utakat, ipart és kereskedelmet hoznak magukkal, ezáltal fejlesztik a gazdaságot, javítják az egészségügy és az oktatás elérhetőségét, emelik az életminőséget. A vízenergia hatalmas készletet

kínál, és pedig többnyire ott, ahol a fejlesztés leginkább szükséges.

- *A vízenergia tiszta és megfizethető erőforrás.* Az átlagosan ötven-száz év élettartamú vízerőművek hosszú távú befektetést jelentenek, több generációnak is hasznot hajtva. A vízerőművek könnyen fejleszthetők a legújabb technológia alkalmazásával. Üzemének és karbantartásának költségei nagyon alacsonyak.
- *A vízenergia a fenntartható fejlődés kulcsfontosságú eszköze.* A gazdasági szempontból életképes, környezeti szempontból megbízható és szociális szempontból felelős módon megvalósított és működtetett vízerőmű-projektek a fenntartható fejlődést szolgálják. Ez a legjobb módja a mai ember energiaigényeinek kielégítésére anélkül, hogy a jövő generációk igényeinek kielégítésében kompromisszumokra lenne szükség.

A vízenergia-hasznosítás előnyei és hátrányai

A vízenergia előnyeinek és hátrányainak mérlegét az IHA így foglalta össze (1. táblázat):

A vízenergia általános jellemzésétől eltérően a vízerőművek élővizeken okozott hatásai, hordalékmozgások általában a szivattyús energiatárolókat nem terhelik.

Az előnyök és hátrányok összevetéséből, a hátrányok mérséklésének, illetve megszüntetésének lehetőségéből kiindulva az országok döntő többsége úgy ítélte meg, hogy indokolt és lehetséges a vízenergia biztonságos és a fenntartható fejlődés követelményeivel összhangban álló hasznosítása. Természetesen bármely ország dönthet úgy is, hogy nem él a rendelkezésére álló vízenergia-potenciál hasznosításának lehetőségével. Nem térhet ki azonban a minden körülményt figyelembe

vevő, elfogulatlan komplex szakmai elemzés, és az ennek eredményeire alapozott döntésnek indoklása elől. E megállapítások Magyarországra is érvényesek.

A vízenergia-hasznosítás adottságai és feltételei Magyarországon

A primer energiaforrás hasznosításának adottságai Magyarországon • A magyarországi vízerőművek összes beépített teljesítménye kb. 50 MW, éves termelésük kb. 200 GWh (azaz kisebb, mint a jelenlegi teljes hazai villamosenergia-felhasználás 0,5%-a). A villamosenergia-szolgáltatás szempontjából szerepük nem jelentős. A nem befejezett Bős–Nagyymaros-vízerőműrendszer magyar részre jutó hányada a jelenlegi vízerőművek beépített teljesítményének kb. kilencszerese (kerekén 440 MW) lett volna.

A magyarországi vízerőművek a nemzetközileg jellemző adottságokhoz viszonyítva szerények. A legutolsó készletfelmérés szerint az elméleti vízerőmű 7446 GWh/év, amiből az 1961–65 között a műszakilag hasznosíthatónak ítélt vízerőművet 4590 GWh/év nagyságúra (azaz a jelenlegi teljes hazai villamosenergia-felhasználás 10–12%-ára) tették. Ez nagyságrendileg kb. 1 GW teljesítményt jelent. A vízerő-hasznosítási lehetőségek a következőkkel jellemezhetők:

A Duna vízerőműjének hasznosítása • Magyarország vízerő-hasznosítási lehetőségeinek több mint háromnegyedét a Duna kínálja. Azonban a magyarországi Duna-szakasz jelentős része (a teljes 417 folyamkilométerről 140) közös Szlovákiával. Ezen a szakaszon a szlovák hozzájárulás nélküli vízenergia-hasznosítás eleve kizárt. A Bős–Nagyymaros-vízerőműrendszer vitás kérdéseinek megfelelő, kétoldalúan elfogadott kompromisszummal történő lezárásáig még arra sincs lehetőség,

ELŐNYÖK

Gazdasági szempontok

- Alacsony üzem- és karbantartási költség
- Hosszú élettartam (50–100 év)
- Rugalmasság biztosítása
- Kipróbált, bevált technológia
- Regionális fejlesztést ösztönöz és segít
- Magas energiahatékonyságot biztosít
- Támogat más vízhasználatokat
- Munkalehetőségeket teremt
- Üzemanyag-megtakarítást eredményez
- Az energiatartósságot erősíti
- Optimalizálja a villamosenergia-termelés szerkezetét

Szociális szempontok

- Biztosítja a vizet más vízhasználatokhoz
- Növeli a környező területek árvízrel szembeni biztonságát
- Javíthatja a hajózási lehetőségeket
- Gyakran üdülési infrastruktúrát teremt
- Javítja a terület megközelíthetőségét (utak, hidak stb.)
- Építési és üzemelési munkát biztosít a helyi munkaerőnek
- Javítja az életkörülményeket

Környezeti szempontok

- Minimális üvegházhatást okozó gázt termel
- Javítja a levegőminőséget
- Nem termel hulladékot
- Lassítja a nem megújuló üzemanyagkészletek kimerülését
- Gyakran új édesvízi ökoszisztémákat hoz létre
- Növeli az ismereteket az értékes egvedek kezelése tekintetében
- Segíti a klímaváltozás lassítását
- Nem használja el és nem szennyezi a vizet a villamosenergia-termelés melléktermékével

HÁTRÁNYOK

- Hosszú megvalósítási idő
- Csapadékfüggőség
- A tározókapacitás csökkenése hordalékos helyeken
- Hosszú távú tervezést igényel
- Hosszú távú megállapodásokat igényel
- Több szakterület együttműködését igényli
- Gyakran külföldi kivitelező és finanszírozás szükséges

- Egyes helyeken áttelepítést igényel
- Korlátozhatja a hajózást
- A helyi földhasználati módok változhatnak
- A vízi eredetű járványokat ellenőrizni kell
- Vízkészlet-gazdálkodást tesz szükségessé több vízhasználó esetén
- Az érintett emberek életfeltételeit biztosítani kell

- Eláraszt szárazföldi élőhelyeket
- Megváltoztatja a vízjárást
- Megváltoztat vízi élőhelyeket
- A vízminőséget ellenőrizni kell
- Időleges változást okoz a táplálékláncban
- Az egvedek és populációk ellenőrzése szükséges
- Korlátozza a halak vándorlását
- A hordaléklerakást és -szállítását ellenőrizni kell

I. táblázat

hogyan Magyarországot megkaphassa a több mint másfél évtizede üzemelő Bósi Vízerőmű termeléséből az országot megillető részt. A Dunakanyar és a déli országhatár közötti Du-

na-szakasz hasznosíthatóságát nem korlátozza más országok joga. Kötöttséget a Duna Bizottság terve jelent, melyben Adonynál és Fajsznál jelölték ki a hajózási szempontból

szükségesnek ítélt vízlépcsők helyét. (A Fajsznál esedékes duzzasztás egyébként javítaná az üzemelő Paksi Atomerőmű hűtővízellátási feltételeit, biztonságát, különösen a Duna vízhozamának időnkénti jelentősebb csökkenései esetében, és lehetővé teszi a hűtőtornyok elhagyását az atomerőmű tervezett bővítésekor.) Más helyszínek esetén a déli határon a szerb–horvát közös szakaszra átterjedő hatások jelentenek korlátot, ami csak a horvát–magyar viszony rendezése keretében kezelhető.

Példaértékű lehet az, hogy Bulgária és Románia kormánya milyen eredményt ér el a bolgár–román közös Duna-szakasz hasznosításának támogatásához az EU által a megújuló forrásból termelt villamos energiára előírt követelmény teljesítése során. A szerb–német megállapodás szerinti, koncessziós alapú Duna-hasznosítás pedig példát mutat az adott ország lakosságát gazdasági többletterekkel nem terhelő megvalósítási formára.

A Tisza vízerőművesítésének hasznosítása • A Tisza Magyarország vízerő-hasznosítási lehetőségeinek 10–15%-át teszi ki. A korábbi tervek egyrészt a víziút-paraméterek biztosításához igazodtak, ami a Kisköre alatti szakaszon jelenleg sincs meg, másrészt a Hármaskörös torkolata feletti vízhiányos szakasz öntözővízellátási gondjait próbálták enyhíteni. Gyakorlati szempontból Csongrád térségében tervezhető a vízi közlekedés fejlesztését és az öntözési vízkészlettel való gazdálkodást elősegítő vízerőmű kb. 20 MW teljesítménnyel. Távolabban a Tisza felső, Tiszalök feletti szakaszán a víziút biztosítása indokolhatja olyan létesítmény kialakítását, amit legfeljebb 10–15 MW teljesítményű vízerőmű egészíthet ki.

Egyéb hazai folyók és kisebb vízfolyások vízerőművesítésének hasznosítása • A Dráva határszakasza Magyarország vízerő-hasznosítási lehetőségeinek kb. 8%-át teszi ki. A tárgy-

ban kialakult feszültségek miatt ma nem valószínű a közös hasznosítás előtérbe kerülése. A vízerőművesítés fennmaradó részét a kisebb folyók – Maros, Hernád, Rába, Sajó, Körösök –, illetve a kisebb patakokon, folyókon elképzelhető törpe vízerőművek jelentik. Ezek megvalósításának költségintje többségükénél magas, és még a támogatási rendszerek alkalmazása esetén sincs számottevő esély a megvalósításukra.

A rendelkezésre álló vízerőművesítések primer energiaként történő hasznosításakor a lehetséges teljes termelés a jelenlegi hazai villamosenergia-fogyasztás 10–12%-át fedezheti. A vízerőművesítés országhatárt nem érintő felének hasznosítása az ország belügye, a másik fele csak a szomszédos országokkal közösen hasznosítható.

Az általános értékelés és megállapítások alapján a hazai vízenenergia-potenciál energetikai hasznosítása indokolt. A vízenenergia-hasznosítás többnyire nem támogatásigényes, így mérsékelheti a klímavédelmi célok elérésének költségintjét. Hasznosítása jelentheti a villamosenergia-fogyasztókra és a lakosságra legkisebb gazdasági terhet áthárító megoldást. Ugyanakkor a gazdaság más területein is jelentkezhetnek járulékos hasznai.

Szivattyús energiatárolók létesítési lehetőségei Magyarországon

A vízenenergia szabályozó teljesítményként való használata és a szivattyús energiatároló létesítése is évszázados múltú Magyarországon. Hazánk területén az első szivattyús energiatároló 1912-ben lépett üzembe. (Műszaki érdekesség, hogy máig a közel százéves főgépekkel működik.) A villamosenergia-rendszer fejlesztéséből eredő követelményekhez igazodva jelenleg a kötelező átvételű hőszolgáltatással kapcsolt termelés, a megújuló energia haszno-

sításának növekedése, valamint a nagyblokkos termelők megléte és belépése határozza meg a szivattyús energiatárolók létesítésének leglényegesebb követelményeit.

A megfelelő helyszín kiválasztása csak több szakterület szempontjainak együttes mérlegelésével lehet sikeres, ezért az MVM Zrt. együttműködést kezdeményezett az érintett országos hatóságokkal a kompromisszum feltárására. A legkedvezőbbnek ítélt potenciális hazai helyszínek több mint negyven lehetőség közül kerültek ki, és a több követelmény közötti kompromisszum keresése a Dunakanyar és Dél-Zemplén térségében hozhat eredményt. Ugyancsak prioritása lehet a bányák, felhagyott katonai területek igénybevétele. A legkedvezőbbnek ítélt helyszínek közül néhány: Keserű-hegy (esés: 525 m, területigény: 38 ha, fajlagos beruházási költség 2007-es árszinten: 655 EUR/kW), Sima (382 m, 85 ha, 667 EUR/kW), Hidegvölgy (214 m, 92 ha, 677 EUR/kW), Urak asztala – Visegrád (482 m, 46 ha, 749 EUR/kW), Urak asztala – Csódi-hegy (380 m, 74 ha, 791 EUR/kW). A magyarországi létesítési lehetőségeknél az adottságok és a költségint nem tér el számottevően a nemzetközi gyakorlattól.

A szivattyús energiatároló fajlagos beruházási költségei kis teljesítmények esetén magasak, és ez a beépített teljesítménynek 300 MW körül szab alsó gazdasági határt. A felső határt a piaci értékesíthetőség szabja meg. A jelenlegi igények szerint a középtávon megfelelő kapacitás nagyságra, a rendszer nagyblokkos fejlesztése és intézkedéseket igénylő volumenű megújulóenergia-hasznosítás nélkül 600 MW a felső teljesítményhatár. A rendszer nagyblokkos fejlesztéséhez, illetve a nagytömegű megújuló energiaforrás hasznosításához szükséges feltételek biztosítása a

fejlesztés második szakasza lehet. A szivattyús energiatároló létesítése szempontjából a bővíthető helyszínek perspektivikusak, két szakaszban valósítva meg az 1–1,2 GW összkapacitást.

A legkedvezőbbnek ítélt potenciális hazai telephelyek a kiegészítő vizsgálatok alapján három csoportba sorolhatók. Az első csoportba a rendszerszabályozási és tartalék-biztosítási igényeket hosszú távon biztosítani képes és támogatás (vagy lényeges támogatás) nélkül finanszírozható helyszínek tartoznak, melyek a Dunakanyarban és a Zempléni-hegységben alakíthatók ki. A második csoportba a rendszerigényeket hosszú távon biztosítani képes, de csak támogatás esetén finanszírozható helyszínek, a harmadikba pedig a rendszerigényeket hosszú távon nem biztosító, és csak bizonyos támogatás esetén finanszírozható helyszínek tartoznak.

Azoknak a lehetőségeknek kell prioritást kapniuk, amelyek a villamosenergia-fogyasztókra és a lakosságra a legkisebb gazdasági terhet jelentik, és a lehetséges termékek versenypiaci értékesítésével, támogatási igény nélkül megvalósíthatók. A gazdasági megvalósíthatóság szempontjából ezért a Dunakanyarban és Zemplénben tervezett létesítmények kaphatnak prioritást.

A vizsgálatok szerint az országhatáron túli (Szlovákia, Románia, Ukrajna) erőművek létesítési költségei a hazaiakéval azonos nagyságrendűek. A szükséges távvezeték-kapcsolatok kiépítése miatt ehhez minden esetben lényeges többletköltség járul. Önmagában a beruházási költségek nagysága alapján nem látható számottevő előnye az országhatáron kívüli megoldásnak. A jelenlegi feltételek mellett nem látszik célszerűnek az országhatáron túli szivattyús energiatároló létesítésére vonatkozó vizsgálat.

A műszaki, területfoglalási és költségadatok azt mutatják, hogy számos belföldi lehetőség megvalósítási költségei versenyképesek a külföldi projektekével, így a más országokból történő kapacitásimportnak nincsenek előnyei.

A primer energiaforrásként történő hasznosítás feltételei Magyarországon

A megújuló forrásból termelt villamos energia mennyiségének és felhasználási arányának növelésére irányuló célok elérését segítő támogatási rendszerek jelentős többletterhet rónak a magyarországi villamosenergia-fogyasztókra (beleértve a lakosságot is). Miközben a villamosenergia-piaci termelői árak kb. a felükre csökkentek, ez sem a támogatásokra, sem pedig a támogatott árakra nem hatott. A folyamatosan növekvő és a fogyasztókra áthárított terhek miatt egyes időszakokban a támogatott átvételi árak elérik vagy meghaladják a nemzetközi piac termelői árainak a négy-öttszörösét is. A támogatási spekulációk sem az etikus viselkedési formákat, sem a racionális mérlegelést nem segítik.

Ugyanakkor a támogatást nem igénylő vagy a villamos energia fogyasztóit legkevésbé terhelő lehetőségek még vizsgálat tárgyát sem képezik. A magyarországi vízenergia-készletek hasznosítása egy lehetséges nagyblokkos, koncentrált kapacitást biztosító fejlesztési opciót kínál, amely számottevő támogatás nélkül is megvalósítható. A kérdés vizsgálata több szempontból aktuális, és a meghatározó feltételei meglehetősen komplexek.

A Magyarországra háruló kötelezettségek • A 2009/28/EK irányelv szerint a megújuló energiából termelt villamos energia részarányának 2020-ig közösségi szinten el kell érnie a 20%-ot. Magyarországra ez az arány legalább 13%. Az EU által megszabott köte-

lezettség teljesítéséhez a 2148/2008. (X. 31.) számú kormányhatározat szerint 2020-ra a megújuló energia felhasználásával termelt villamos energiának el kell érnie a 9470 GWh/év értéket.

A válság hatása a kötelezettségek teljesíthetőségére • A villamos energia terén a megújuló energia hasznosításának elérendő mértékét a prognózisok szerint Magyarország várhatóan nem tudja teljesíteni. A gazdasági válság tovább rontotta a villamosenergia-ipari fejlesztések megfelelő ütemű megvalósításának esélyét. A villamos energia fogyasztásának növekedési üteme lelassult. Az energiaárak drasztikusan csökkentek, csökkent a kereslet, és ez a nagykereskedelmi árak változásában jól lemérhető. Az erőmű-beruházások vonzereje mérséklődött. Növekedett az ösztönzés a régi erőművek további üzemeltetésére. A beruházás csökkenése a megújuló források hasznosítását is érintette, a beruházók jelentős hitelnehézségekkel küzdenek. Veszélybe kerülhet az EU klímavédelmi céljainak teljesítése.

A vízenergia-hasznosítás az EU irányában vállalt kötelezettségek tükrében • A vízenergia-készlet hasznosítása az EU-tagként vállalt megújulóenergia-használati részarány eléréséhez egy koncentrált kapacitást biztosító opció, amely számottevő támogatás nélkül is megvalósítható. A rendelkezésre álló adatok alapján a Duna országhatáron belüli szakaszán (a szlovák–magyar határszakasz nélkül) lényeges támogatás nélkül is biztosítható kb. 2,0 TWh/év megújuló energia, ami kb. 5%-a a hazai villamosenergia-fogyasztásnak.

A vízerő-készlet-hasznosítás vizsgálatának kötelezettsége • Magyarországon a vizek hasznosítását, védelmét és kártételeinek elhárítását szolgáló tevékenységekre és létesítményekre vonatkozó 379/2007. (XII. 23.) kormány-

rendelet 62. §-a szerint a folyók vízszintszabályozásának kialakításánál minden esetben meg kell vizsgálni a vízerő-hasznosítás lehetőségét is. A rendelet 4. § (1) bekezdése szerint a vízi létesítmények tervezése során előnyben kell részesíteni a többcélú alkalmazási, hasznosítási megoldásokat.

Az állam szerepe a vízerő-készlet hasznosítása terén • A vízerő-készlet az ásványvagyonhoz hasonlóan természeti erőforrás, amely az állam tulajdonát képezi. A hasznosításához szükséges területek (például a vízfolyások medre, parti területek, hullámterek) ma általában az állam tulajdonában vannak. Nem alakult ki az állami tulajdon hasznosítására vonatkozó egységes (például koncessziós) rendszer. A jogszabályok az adott szakterületet nem is fedik le teljeskörűen. Így a bármilyen kis léptékű vízenergia-hasznosítás engedélyeztetése előtt e jogszabályokat rendezni kell. Megfelelő jogszabályok hiányában nem védhetők azok a döntések sem, melyeket esetenként a vízügyi szervezet valamelyik perifériális egysége saját hatáskörében hoz. A jogi helyzet megfelelő rendezése után a kormány megfelelő döntése nyithat teret a vízenergia hasznosításának.

Kormányzintű döntést nem (feltétlenül) igénylő hasznosítási lehetőségek • Léteznek kormányzintű döntés nélkül is megvalósíthatónak ítélt hazai vízenergia-hasznosítási lehetőségek a meglévő létesítmények kiegészítésével. A szigetközi Duna-ágrendszer vízpótlására üzembe került Dunakiliti Duzasztómű 20–25 MW teljesítmény beépítését teszi lehetővé lényegében új építmény nélkül. Így a jelenleg átfolyó (nemzetközi egyezményben garantált mennyiségű) vízből 150–180 GWh/év villamos energia nyerhető. A Paksi Atomerőmű hűtővizének visszavezetése a Dunába 7–8 MW teljesítmény beépítését és

a jelenlegi hűtővízforgalom feltételezésével 50–55 GWh/év villamos energia visszanyerését teszi lehetővé. A Hármaskörösön kb. hetven éve üzemelő Békésszentandrási Duzasztómű hozzávetőleg 4 MW teljesítmény beépítését teszi lehetővé lényegében új építmény nélkül. Ennek révén 12–14 GWh/év villamos energia nyerhető. A kormánydöntés nélkül is megvalósítható, gazdasági szempontból reálisnak ítélt, új környezeti hatásokat nem okozó, kiegészítő hasznosítási lehetőségek mintegy 40 MW teljesítmény beépítését és 280–320 GWh/év villamos energia termelését teszik lehetővé. Ez önmagában a jelenlegi két és félszeresére emelné a vízenergiával termelt villamos energia mennyiségét.

Szivattyús energiatároló létesítésének feltételei Magyarországon

A magyar villamosenergia-rendszer a nyugat-európai egyesített villamosenergia-rendszer (UCTE) tagja. Magyarország vállalta az együttműködés feltételeinek biztosítását. A magyar villamosenergia-rendszer tartósan nem tud megfelelni a szabályozás minőségére vonatkozó UCTE-követelményeknek. Az UCTE hierarchikus működése, a felelősség rendszerirányítók közötti megosztása miatt a magyar villamosenergia-rendszer szabályozhatóságának hiánya és romlása nemcsak belügy, hanem regionális hatású uniós probléma is.

A magyar villamosenergia-rendszerben a rendszer fejlődésére visszavezethető okokból hiányzó rendszerszabályozási kapacitás következtében a piac növekvő költségekre vezet, magas terheket hárít a fogyasztókra, anélkül, hogy a keletkező problémák hosszú távú megoldásához eszközül szolgálna. Az előregedett, szabályozási üzemre nem kialakított és nem is alkalmas, versenyképtelenül magas terme-

lési önköltségű erőművek tartalékban tartása a megnövekedett szabályozási igények mellett már nem képes a rendszerszabályozási szolgáltatások biztosítására. Szükség van olyan rugalmas üzemű nagyerőműre, amit a szabályozásra alkalmas módon alakítottak ki.

Az együttműködő villamosenergia-rendszer szabályai szerint minden villamosenergia-rendszernek önállóan kell biztosítania a fogyasztás és a termelés egyensúlyát, ezért a rendszer szabályozását a magyar villamosenergia-rendszeren belül kell megoldani. Egyes szolgáltatások, például a szekunder szabályozás, országhatáron túlról nem biztosíthatók.

A rendszerszabályozási kapacitás iránti igény sürgősségét indokolja az évenkénti 26–33 milliárd Ft rendszerszabályozási költség-növekmény. (Egyszerűsítve ez azt jelenti, hogy a megoldás egyéves késedelmébe hozzávetőleg 30 milliárd Ft szükségtelen és értelmetlen többletterhet, illetve veszteséget hárít a villamosenergia-fogyasztókra, anélkül, hogy az áthárított terhek magukban hordoznák a megoldás kibontakozásának lehetőségét.) A MAVIR jelentései szerint a magyar villamosenergia-rendszer a gyorsan növekvő, tetemes többletköltség ellenére sem szabályozható megfelelően.

A komplex szolgáltatást és rendszerszabályozást biztosító szivattyús energiatároló gazdasági szempontból erős és megfelelő profitot biztosító befektetés a beruházó részére, versenyképes piaci pozíció mellett. Megvalósításához nem szükséges gazdasági támogatás, ezért vonzó célpontja a szakmai és nem szakmai befektetők érdeklődésének. Lényeges és eldöntendő stratégiai kérdés, hogy a magyar villamosenergia-rendszer kulcsfontosságú irányítási eszközét a nagyfeszültségű hálózathoz hasonlóan az állam diszpozíciójában kell-e tartani.

Tárgyi tévedés, hogy új gáztüzelésű blokkok beléptetésével a rendszer szabályozásának problémái megoldódnak. A napi minimális rendszerterhelések kezelhetetlenségén az új gáztüzelésű egységek belépése nem javít. A merevvé vált rendszerből a szabályozásra használható gáztüzelésű blokkok kiszorultak. Ezek visszakérülése vagy új gáztüzelésű egységek bevonása a rendszerszabályozásba csak akkor lehetséges, ha a rendszer merevségét megfelelő szivattyús energiatároló kapacitás kiküszöböli.

Az előbbiek alapján a szivattyús energiatároló belépésével a rendszerirányító egyrészt az árak stabilizálásával, másrészt pedig a projekt megfelelő használata esetén a rendszer szintű szolgáltatások iránti igény mérséklésével csökkenti a költségeit. Összességében a villamosenergia-szolgáltatás költségeit mérsékelné, biztonságát pedig növelné – tehát a villamosenergia-fogyasztók érdekét szolgálja.

Az ország egészét érintő ellátásbiztonsági, gazdasági és a további fejlesztések előfeltételét jelentő kérdés megoldását a Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium Nemzeti Parki és Tájvédelmi Főosztálya által kiadott állásfoglalás szerint az MTA *ad hoc* bizottságának megállapítása akadályozza. Az *ad hoc* bizottság a villamosenergia-rendszer működési feltételei szempontjából jelentős kérdésben úgy alakított ki álláspontot, hogy a szakmailag kompetens MVM-et sem közvetlenül, sem pedig az MVM Célcsoportnál tevékenykedő MTA-köztestületi tagokon keresztül nem vonta be, illetve nem kérdezte meg. Az *ad hoc* bizottság állásfoglalásának megismerését a Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium nem tette lehetővé.

Célszerű lenne, hogy az MTA vizsgálja felül az *ad hoc* bizottság állásfoglalását, annak létét, hatályát, az abban foglaltak megfelelő-

ségét, az MTA tényleges álláspontjával való megegyezését, és tegye meg a lépéseket az akadály kiküszöbölésére.

Összefoglalás

A vízenergia hasznosítása primer energiaforrásként világviszonylatban ma igen jelentős. Egyes országokban ez adja a villamosenergia-termelés legfontosabb alapját, és lényeges szerepet játszik a villamosenergia-rendszer szabályozásában. Felhasználása a jövőben csak növekszik.

A magyar villamosenergia-rendszerben a vízenergia szerepe jelenleg nem jelentős. A hazai vízenergiával kapcsolatos vizsgálatok két lényeges szempont köré rendelhetők: a megújuló forrásból termelt villamos energia arányának és mennyiségének növelése a vízenergia-hasznosítás fejlesztésével, illetve a villamosenergia-rendszer szabályozási problémáira megfelelően rugalmas megoldás kialakítása.

A vízerőművek és hasznosítási lehetőségek részletes felmérése legutóbb 1960–1965 között történt. A készletfelmérés óta eltelt közel fél évszázad során gyakorlatilag minden körülmény megváltozott, beleértve a műszaki, gazdasági, környezeti, jogi feltételeket. Lényegesen megváltoztak a vízenergia-hasznosítás gyakorlati megvalósításának eszközei, és a folyók vízjárása sem maradt olyan, mint amilyen ötven évvel ezelőtt tapasztalható vagy prognosztizálható volt. Az előbbiek kétségbe vonhatóvá teszik a vízenergia-hasznosítás tárgyában kialakított eddigi álláspontokat. A szakma kiszorult a véleményalkotásból. A szakmaiság helyreállítása a megbízható és komolyan vehető véleményalkotás előfeltétele. A racionális álláspont kialakításához ki kellene lépni a vélelmek, feltételezések és ma már történetinek számító emlékek köréből.

Ehhez *tudományos igényű komplex vizsgálatokra van szükség, s ha azok pozitív eredményre vezetnek – amit e tanulmány készítői valószínűsítünk –, akkor módosítani kell a korábbi elutasító döntéseket.*

A villamosenergia-rendszer üzeme által meghatározott komplex szabályozási igények kielégítése leghatékonyabban szivattyús energiatároló beléptetésével biztosítható. A szivattyús energiatároló a villamosenergia-szolgáltatás költségeit mérsékli, biztonságát növeli, tehát a villamosenergia-fogyasztók érdekét szolgálja. *Célszerű lenne, hogy az MTA felülvizsgálja a szivattyús energiatároló létesítését akadályozó ad hoc bizottsági állásfoglalást.*

A villamos energia terén elrendő, az EU-ban vállalt megújulóenergia-hasznosítási mértéket a prognózisok szerint Magyarország várhatóan nem tudja teljesíteni. A gazdasági válság tovább rontotta a villamosenergia-ipari fejlesztések megfelelő ütemű megvalósításának esélyét. A hazai vízenergia-potenciál energetikai hasznosítása indokolt. A klímavédelmi célok eléréséhez ez jelentheti a villamosenergia-fogyasztókra és a lakosságra legkisebb gazdasági terhet áthárító megoldást, és a gazdaság más területein is jelentkezőnek járulékos hasznai.

A végleges döntéseket azonban csak a lehetséges helyszínek figyelembevételével lefolytatott, tudományos igényű, részletes és komplex vizsgálatok eredményeire alapozva lehet meghozni. Minthogy az egész országot érintő kérdéstről van szó, a vizsgálatok feltételeit (beleértve a pénzügyieket is) a kormánzatnak kell biztosítania. E vizsgálatok tudományos koordinálását az MTA magára vállalhatná.

Kulcsszavak: *vízenergia, megújuló energia, szivattyús energiatároló, energiabiztonság, tiszta energia, fenntartható fejlődés*

IRODALOM

- Bartle, Alison (2008): The Role of Hydropower Continues to Increase Worldwide. In: *2008 World Atlas & Industry Guide of the International Journal of Hydropower & Dams*. Aqua-Media International, Surrey, UK
- Brown, Paul David (2006): *Evaluation of Integration of Pumped Storage Units in an Isolated Network*. FEUP, Porto
- Energy Information Administration (2009): *International Energy Outlook 2009*. U.S. Department of Energy, Washington
- Gerse Károly (2007): Miért kell tározós vízerőmű? MVM Közlemények. 1–2, 10–20.
- Giesecke, Jürgen – Mosonyi Emil (2003): *Wasserkraftanlagen, Planung, Bau und Betrieb*. Springer, Berlin–Heidelberg
- Haga, Ingvald (1999): *Coordinating Hydropower and Thermal Power*. Norwegian University of Science and Technology, Trondheim
- International Hydropower Association (2003): *The Role of Hydropower in Sustainable Development, IHA White Paper*. IHA, Sutton, Surrey, UK
- Kerényi A. Ödön (2003): Az EU és a megújuló áramtermelés. MVM Közlemények 2003/3, 40–42.
- Kundur, Prabha (1993): *Power System Stability and Control*. McGraw-Hill, New York–Toronto
- Mosonyi Emil (2007): A hazai vízgazdálkodás távlati feladatai. Javaslatok tervezési munkák megkezdésére a klímaváltozásnak és Magyarország sajátos földrajzi helyzetének figyelembevételével. MVM Közlemények. 1–2, 63–67.
- Nicolet, Christophe (2007): *Hydroacoustic Modelling and Numerical Simulation of Unsteady Operation of Hydroelectric Systems*. EPFL, Lausanne
- Országos Vízügyi Hivatal (1984): *Országos Vízgazdálkodási Keretterv*. Vízügyi Dokumentációs Szolgáltató Leányvállalat, Budapest
- Spanish Association of Renewable Energy Producers (APPA) (2000): *Environmental Impacts of the Production of Electricity. Comparative Study of Eight Technologies of Electrical Generation*. ESHA, Bruxelles
- Vuorinen, Asko (2007): *Planning of Optimal Power Systems*. Ekoenergo Oy, Helsinki–Espoo



SZEMPONTOK AZ ENERGETIKA ÉS KÖRNYEZET KAPCSOLATÁHOZ

Szarka László

az MTA doktora, tudományos igazgatóhelyettes,
MTA Geodéziai és Geofizikai Kutatóintézet, Sopron
az MTA Kutatóintézeti Főosztály vezetője, MTA Titkárság
szarka.laszlo@office.mta.hu

Környezeti hatásnak az emberi tevékenység természeti következményeit nevezzük. Mivel a természeti folyamatokba való emberi beavatkozás következményei nemlineárisak és beláthatatlanul hosszú távúak, ezért a környezeti hatás helyett inkább az emberi tevékenység, a természeti folyamatokba történő beavatkozás mértéke, intenzitása becsülhető. Az emberi beavatkozás három lényeges összetevője: (1) a geo-, hidro- és atmoszféra szennyezése (amelyek közül a figyelem manapság – alighanem túlzó mértékben – a CO₂-kibocsátásra összpontosul); (2) az a terület, amit az adott energiatípus kiaknázása a természet-től elvesz; (3) a természeti erőforrások kiaknázásának mértéke, ugyanis míg az egyes energiatermelési módok a természeti folyamatokba történő emberi beavatkozás mértékét illetően specifikusak, az energiafelhasználás az energia mennyiségével arányos emberi beavatkozást: hőszennyezést és felszínátalakító munkát jelent.

Bevezetés

Az MTA Környezettudományi Elnöki Bizottság (MTA KÖTEB) Energetika és Környezet Albizottság tanulmányokat készített az ún. megújuló energiatípusok Magyarországon re-

leváns fajtáiról: a bioenergia, geotermika, szél-, víz- és napenergia helyzetéről és azok környezeti hatásairól (lásd a többi tanulmányt e cikkgyűjteményben). Az MTA KÖTEB vitáján kirajzolódott a szintézisszerű összehasonlítás igénye, és ehhez különféle (gazdasági, szociális, helyi, regionális, nemzetpolitikai, valamint európai uniós) szempontok figyelembevételét ajánlották. E komplex megközelítés helyett azonban egy jóval egyszerűbb összehasonlítást talál itt az olvasó. Az egyszerűsítésnek több indoka van. Egyfelől az egyes energiatípusokról szóló tanulmányok már a bonyolult hazai és nemzetközi feltételrendszerbe ágyazottan tárgyalják az adott energiatípus helyzetét, és ennek a sokféle – időben és térben változó – szempontnak az együttes figyelembe vétele kezelhetetlen. Másfelől azt lehet tapasztalni, hogy még az alapkérdések is tisztázatlanok. Ezért ez a tanulmány – a tényekből és a jelenlegi helyzetből kiindulva – az energiatípusok helyzetét kizárólag természettudományi nézőpontból tárgyalja.

Energetika és környezet

Globális körkép • Bio- és geoszakemberek egybehangzó véleménye szerint a legnagyobb globális probléma a Föld természeti tőkéjének