

*Kohlheb Norbert – Munkácsy Béla –
Csanaky Lilla – Meleg Dániel**

A megújuló energiaforrások potenciáljai és hasznosításuk Magyarországon

Az energiagazdálkodás a társadalom egyik kulcsfontosságú tevékenysége, hiszen energiára az élet minden területén, folyamatosan szükségünk van. Jelenlegi energiarendszerünk működése azonban nem fenntartható, sem a felhasznált erőforrások készleteinek korlátossága, sem az okozott környezeti terhelés következtében. Ezért hosszú távon az ellátás biztonsága is veszélybe kerül.

A termelés döntő többségét, mintegy 78%-át adó fosszilis energiahordozók esetében a XXI. század közepére a legtöbb forrás bizonyosan túljut a kitermelési csúcson, utána pedig már csak rohamosan növekvő költségekkel állnak majd rendelkezésre. Az erőforrás hozzáféréseinek a kilátásai a nukleáris energia kapcsán sem jobbak (részaránya alig 2,5%) (REN, 2014), hiszen mára az alapanyagául szolgáló uránérc könnyen hozzáférhető készleteit is kimerítettük (van Leeuwen, 2006).

Ami az energiagazdálkodás környezetterhelését illeti, az egyik legnagyobb probléma, hogy a fosszilis energiaforrások égetéséből üvegházhatású gázok (például CO₂) és más légszennyező anyagok (például savas ülepedést okozó SO₂) keletkeznek. Az éghajlatváltozás fő felelősei az energiatermelés és a közlekedés, jelenleg együttesen az antropogén üvegházhatású gázkibocsátás 39%-át adják (IPCC, 2014). Összehasonlításképpen: a fosszilis források vagy az atomenergia alkalmazásával 10–50-szer annyi üvegházhatású gázt bocsátunk ki egységnyi energia előállításakor, mint a megújuló energiákkal (WEC, 2004). Továbbá a nukleáris energia a baleseti kockázat, a hőszennyezés és az évezredekig problémát jelentő radioaktív hulladékok és a jövő rugalmas energiarendszeréhez való illesztés nehézségei miatt sem elfogadható megoldás.

* Kohlheb Norbert a Szent István Egyetem Természetvédelmi és Tájgazdálkodási Intézetének egyetemi docense, Munkácsy Béla az Eötvös Loránd Tudományegyetem Környezet- és Tájföldrajzi Tanszékének adjunktusa, Meleg Dániel az Eötvös Loránd Tudományegyetem geográfus hallgatója, Csanaky Lilla az Energiaklub munkatársa. A szerzők köszönetet mondanak névtelen bírálóiknak és a folyóirat szerkesztőinek a cikk elkészítésében nyújtott folyamatos támogatásukért és javaslataikért.

A fosszilis és a nukleáris energia esetén a döntően külföldi tüze-lőanyag-használat igen komoly további kockázatokat jelent ellátás-biztonsági szempontból. A nagy, centralizált erőműveink sebezhe-tővé teszik a rendszert (egyetlen erőmű kiesése is súlyos ellátási zavarokat okozhat), és gátolják a helyi, táji adottságokra épülő, de-centralizált, megújuló forrásokon alapuló energiarendszer kiépülését.

Az előzőek alapján világosan látható, hogy Ausztriát, Dániát és Németországot követve hazánkban is mielőbbi paradigmaváltásra van szükség az energiagazdálkodásban. A fenntartható modell há-rom alappillére a takarékoság (kevesebb energiát fogyasztunk), a hatékonyság (egységnyi termékhez, szolgáltatáshoz kevesebb ener-giát használjunk el) és a megújuló energiaforrások (amelyeket csak a fenntarthatósági korlátokat betartva szabad alkalmazni). Mindhá-rom elemre szükség van annak érdekében, hogy csak a legszük-ségesebb fenntartható energiamennyiséget használjuk el a lehető leghatékonyabb módon. A rendelkezésre álló lehetőségek feltárásá-hoz szakítani kell az eddigi gyakorlattal, amelyben kizárólag az ener-getikához szorosan kötődő szakemberek – esetleg közgazdászok közreműködésével – határozták meg a gazdálkodás módját. A jövő-ben a fenntartható energiatervezés negyedik elemeként a multidisz-ciplináris megközelítésre is szükség van. Ehhez a lehető legtöbb mű-szaki társterület (építészmérnöki, közlekedésmérnöki, hulladékgaz-dálkodási, agrár- és erdészmérnöki), sőt a geográfia és szociológia bevonása is elengedhetetlen (Munkácsy B. 2014). Jelen tanulmá-nyunkban a felsoroltak közül csak egyetlen elemre, a megújuló ener-giaforrásokra fókuszálunk.

A megújuló energiaforrások nagy előnye a fosszilis energiahor-dozókkal szemben, hogy készleteik folyamatosan vagy periodikusan az ember számára belátható időtávon belül képesek megújulni, újra-termelődni. A megújuló energiaforrások egyik legjelentősebb hazai csoportjánál, a biomasszánál, a megújulás feltételekhez kötött, míg a szél-, a nap- vagy a vízenergia az emberi hasznosítás intenzitásától független ütemben újul meg.

További előnye a megújuló energiaforrásoknak, hogy használatuk során a fosszilis energiahordozók hasznosításához képest jóval ke-vesebb szennyező anyag keletkezik, vagyis a megújuló energia-források hasznosításakor kevesebb környezetterhelés valósul meg (például Kaltschmitt et al., 2006; Puy et al., 2010; Zah et al., 2007). Kedvező jellemzőjük az is, hogy hozzáférhetőségük térben lénye-gesen egyenletesebb, mint a fosszilis energiahordozóké (például a kőszéné vagy az uránércé), így lokális, decentralizált felhasználásuk egyszerűen megoldható (Bánfalvy et al., 2007). Bár itt is előfordulnak olyan területi különbségek, amelyek távol esnek a hasznosítástól, és

ezért drágábbak (például off-shore szélenergia). Ezért a fenntartható társadalomhoz mindenképpen hozzátartozik a megújuló energiaforrások fenntartható hasznosítása, és elérendő célként fogalmazódik meg a fosszilis energiahordozók és az atomenergia teljes kiváltása a megújulóakra támaszkodó technológiákkal.

Tanulmányunkban a Magyarországon fontosabb megújuló energiaforrások kínálta lehetőségeket tekintjük át különböző szakirodalmi források és saját becslések felhasználásával, elsősorban az elméleti és a műszaki potenciálra fókuszálva. Ahol lehetséges, a társadalmi-gazdasági potenciálra vonatkozó becsléseket is közreadjuk. A saját kalkulációk a biomassa potenciál esetében a társadalmi metabolizmus (Haberl, 2001; Kohlheb–Kraussmann, 2009) módszertanára, míg a szél-, a víz- és a napenergia esetében az „Erre van előre 2.0”¹ című tanulmányban (Munkácsy, 2014) használt számításokra alapulnak. Az általunk vizsgált szakirodalmi eredmények és a saját kalkulációk sokszor igen eltérő eredményeket adtak, mely az eltérő kiindulási feltételekre vezethető vissza. Eszerint megkülönböztethetünk óvatosabb, illetve a jelenlegi termelési szerkezet komolyabb átalakítását valószínűsítő ambiciózusabb kalkulációkat. Mindkét potenciál meghatározásakor törekedtünk arra – ahol az eltérő értékek erre okot adnak –, hogy kijelöljünk egy óvatosabb feltételezésen alapuló becslést, amelyet számított minimum potenciálnak, és egy ambiciózusabb kalkulációt, amit számított maximumnak neveztünk. Azonban a saját becslésekre alapuló számítások esetében nem tartottuk indokoltnak ilyen intervallumok megadását.

Munkánk első részében a potenciálokkal kapcsolatos fontosabb fogalmakat tisztázzuk, melyet a biomassa, a szél- és a napenergia, a környezeti hő- és a vízenergia potenciáljának meghatározása követ. Zárásul a hazai teljes potenciál meghatározására és nemzetközi összehasonlítására, valamint egy még progresszívebb hasznosítási irány bemutatására vállalkozunk.

A rendelkezésre álló megújuló energiaforrások mennyiségének meghatározása

A megújuló energiaforrások hasznosításában az első lépést a hasznosítható, hozzáférhető mennyiség meghatározása jelenti. Ezek meghatározása és a hasznosítást megvalósító célirányos és szerve-

¹ Az „Erre van előre” alternatív forgatókönyv egy olyan szoftveres elemzésekre támaszkodó kutatás eredménye, amely szerint optimális körülmények között 2040–2050-re hazánkban is megvalósítható volna a megújuló energiaforrásokra való 100%-os áttérés.

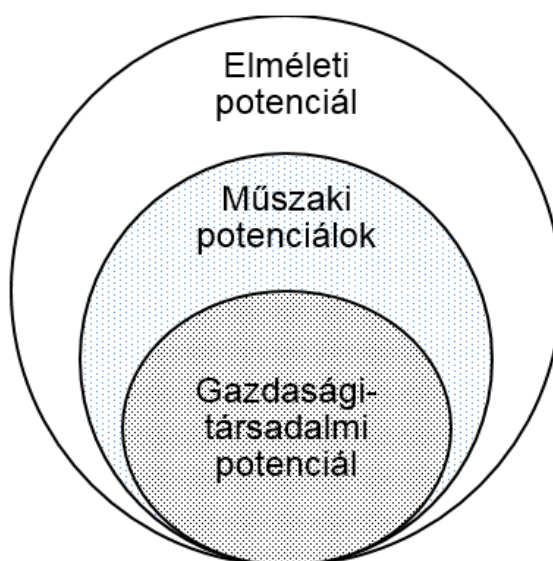
zett fejlesztés lehetőségeinek és lépéseinek végiggondolása tulajdonképpen az adott terület energiastratégiájának megalkotását jelenti. Annak érdekében, hogy reálisan fel tudjuk mérni, hazánkban milyen megújuló energiaforrásokkal és milyen mértékben gazdálkodhatunk, első lépésben meg kell határoznunk ezek hazai erőforráskészletét, más néven potenciálját. Természetesen a hasznosítással párhuzamosan vagy inkább azt megelőzően mindig figyelembe kell venni a hatékonyság növelésében és a takarékoságban rejlő potenciálokat is, hiszen például egy jól szigetelt házban jóval kevesebb tűzifára van szükség a kívánt belső hőmérséklet fenntartásához.

Az egyes megújuló energiaforrások potenciálját általában területi alapon, valamely becslési modell segítségével határozzák meg (például de Wit–Faaij, 2010; van Dam et al., 2007; EEA, 2006; Munkácsy–Kneip, 2011; Munkácsy et al. 2014), hiszen a napenergiából eredeztethető megújuló energiaforrások potenciálja alapvetően a területnagyság függvénye. Ezt módosítják a biomassa, a szél- és a vízenergia esetében a domborzat mellett az éghajlati viszonyok. Ez alól a geotermikus energia jelent kivételt, mivel itt a Föld belső hőenergiájának hasznosítása történik – a környezeti hő további típusaira (aerotermikus és hidrotermikus energia) vonatkozó potenciálok meghatározóan a napenergiával vannak szoros kapcsolatban és kevésbé befolyásolt az éghajlati tényezők által.

Az egyes potenciálok nagysága az átalakítottság vagy más néven a hasznosítási lépcsőfokok szerint alakul. Ez azt jelenti, hogy a hasznosítási folyamat első lépcsőjében a természetben fellelhető készlet a legnagyobb, melyet fizikai vagy elméleti potenciálnak nevezünk (1. ábra). Amennyiben az elméleti potenciálból levonjuk az egyéb hasznosítási lehetőségek által igényelt mennyiséget, a rendelkezésre álló elméleti potenciált kapjuk. Vagyis a rendelkezésre álló potenciál meghatározásakor figyelembe vesszük az egyes versengő használatok, például tűzifa esetében a papírgyári vagy faforgácslap-gyártói igényeket, illetve az aktuálisan felhasznált mennyiségeket, melyeket a rendelkezésre álló mennyiségből már használnak. Ennek eredményeképpen azt az erőforráskészletet kapjuk, ami ténylegesen fel is használható. Itt kell figyelembe venni – alternatív hasznosítási irányként – a különböző természetvédelmi szempontokat, például a természetvédelmi területek kiemelését a rendelkezésre álló termőterületből, vagy a betakarítható szalmamennyiség csökkentését a talaj szervesszén-tartalmának fenntartása érdekében.

Különösen a biomassa esetében további számítást igényel, hogy az elméleti potenciált többféle módon hasznosíthatjuk vagy alakíthatjuk át más energiaformává a rendelkezésre álló technológiai megoldásoktól függően. Minél több ilyen átalakítási lehetőségünk

van, annál inkább sokszínű az adott megújuló energiaforrás hasznosítása. Ez különösen igaz a biomassza esetében, ahol például egy adott területen megtermelhető biomassza egyszerűen kazánokban elégethető, de bizonyos része alkoholos erjesztés útján bioüzemanyaggá alakítható vagy anaerob fermentáció segítségével biogázt vagy kémiai átalakítás során műanyagokat, vegyszereket is állíthatunk elő belőle, vagy energetikai hasznosítás helyett anyagában használhatjuk fel. Az átalakítás hatékonyságától és az átalakítási lépcsőfokok számától függ, hogy a fizikai potenciálból mennyi ún. műszaki potenciál nyerhető. Így tulajdonképpen annyiféle műszaki potenciálról beszélhetünk, ahányféleképpen a természetben fellelhető energiaforrás átalakítható a rendelkezésre álló technológiák segítségével.



1. ábra: A különböző energiaforrás-potenciálok egymáshoz való viszonya

Az erőforrás mennyiségének további szűkítését a gazdasági feltételektől tesszük függővé, és azokat a műszakilag megvalósítható technikai megoldásokat soroljuk ide, amelyek jövedelmező megoldást jelentenek, vagyis megvalósításuk gazdaságilag is indokolt. Ezt nevezzük gazdasági potenciálnak. Természetesen a gazdaságosság esetében nem kizárólag piaci körülmények között megvalósuló nyereségességről van szó, hiszen a támogatások segítségével jövedelmezővé tett és megvalósuló megújuló energiatermelés is idesorolható.² Ezen a körön belül további szűkítést jelenthet a

² A támogatás elsősorban abban az esetben helyes, amikor a támogatás mértéke megegyezik a megújuló energiaforrással megőrzött közjavak, például a tisztább levegő, a kevesebb üvegházhatású gáz kibocsátás értékével.

társadalom által elfogadható technológiák köre, melyeket például az érintett helyi társadalom támogat, hasznosítani kíván vagy megtűr a közvetlen közelében. Ez a társadalmi potenciál.

Magyarországon rendelkezésre álló potenciálok

Biomassza

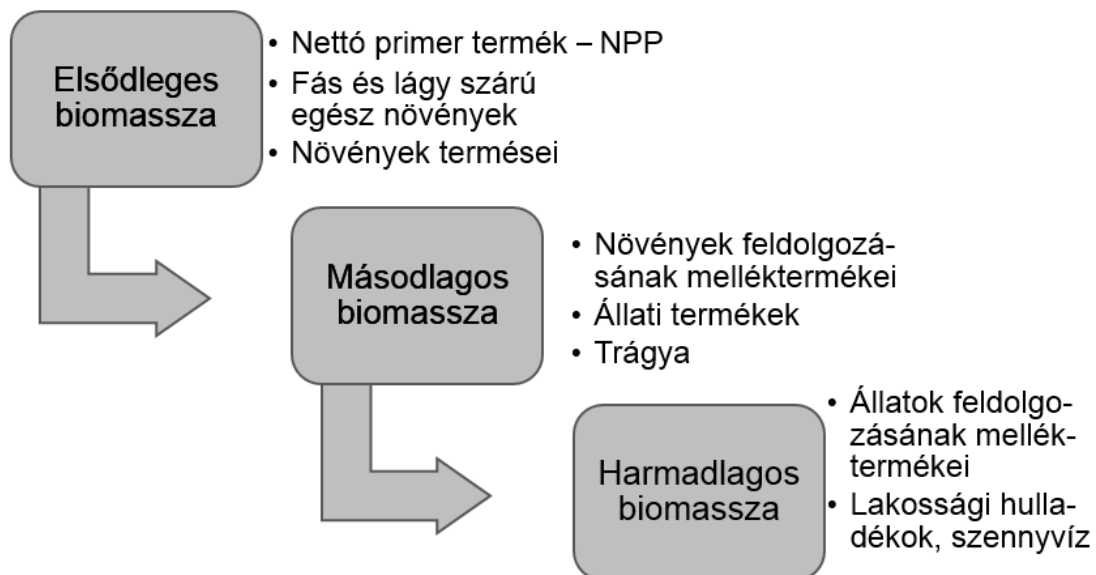
A biomassza nagyüzemi energetikai hasznosítása hazánkban 2002–2003 táján indult, amikor az első, korábban kőszénrel üzemelő erőművek tüzelőanyagot váltottak, és a szénpor helyett vagy azzal keverve fát is tüzelni kezdtek kazánjaikban. Emellett ugyanebben az időszakban a gázár emelkedése miatt a lakosság is egyre nagyobb mértékben állt vissza a fatüzelésre. E folyamatok a szakma és a közvélemény figyelmét is a bioenergia fenntartható hasznosítására irányították, és számos tanulmány elkészítésére ösztönözték a szakembereket (például Bánfalvy et al., 2007; Kohlheb et al., 2007; Kohlheb et al., 2008; Szajkó et al., 2009).

A biomassza energetikai hasznosítása különös körültekintést igényel, hiszen ezen erőforrásunk feltételesen megújuló, ami azt jelenti, hogy megújulási képessége a fenntartható gazdálkodás kereteihez kötött: az energiaforrás megújulási rátáját nem szabad túllépni, valamint fenn kell tartani az erőforrás természeti környezetét is, hogy megújulása biztosított legyen. Ez egyúttal azt is jelenti, hogy a hasznosított energia mennyisége csak a biomassza esetében befolyásolja a későbbiekben hasznosítható mennyiségeket. Vagyis ha ezt a megújuló energiaforrást a hasznosítás során túlhasználjuk, csökken vagy megszűnik a megújuló képessége. A biomassza átgondolatlan és mértéktelen felhasználása nemcsak magát az erőforrást, hanem a talajt, annak vízgazdálkodását, a helyi mikroklímát, az élővilág sokféleségét, egyszóval az adott terület teljes ökológiai rendszerét is károsítja.

A biomassza mint megújuló energiaforrás, keletkezését tekintve három nagy csoportba sorolható. Az első csoportba a növények által termelt alapanyagok, termények tartoznak, mint például az erdőben keletkező faanyag vagy a szemtermés a szántóföldi gabonatermesztés esetében. Ezt elsődleges biomasszának nevezzük (2. ábra). Tulajdonképpen minden növények által létrehozott anyag, termény ide tartozik.

A másodlagos biomassza csoportja tartalmazza mindazon termékeket, amelyek legalább egy átalakítási folyamaton már áttestek. Így ebbe a csoportba tartoznak a növények feldolgozási melléktermékei, mint például az ocsú vagy a fűrészüzemi faforgács, valamint az állati

termékek és az állattenyésztés melléktermékei, mint például az istállótrágya. A harmadlagos biomassa körébe tartoznak a többszörösen átalakított anyagok, például az állati termékek feldolgozásakor keletkező melléktermékek, illetve a lakossági hulladékok. A biomassa mint energiatermelésre alkalmas alapanyag tehát igen sokféle módon keletkezhet és használható fel.



2. ábra: Az energetikailag hasznosítható biomassa forrásai

Magyarországon a biomassa fenntartható hasznosítására csak az utóbbi időben terelődött több figyelem. Az eddigi rossz hatékonyságú, centralizált felhasználás – amely az átalakított, egykori széntüzelésű erőművekben valósult meg, többnyire csupán 23–25%-os hatásfokkal – sok kívánnivalót hagyott maga után, és a jövőben semmiképpen sem követendő. Ezen nagyerőművek legnagyobb problémája az volt, hogy annak környezetében a hatalmas mennyiségben keletkezett hulladékot nem tudták hasznosítani, s ennek következtében hatásfokuk igen alacsony maradt (Kohlheb et al., 2007; Kohlheb et al., 2008). A cél a komplex környezetgazdálkodási szempontokat előtérbe helyező, a helyi adottságokra épülő hasznosítási irány, ahol az elsődleges, másodlagos és harmadlagos források rendszerbe foglalt észszerű hasznosítása (például hőlépcsők kihasználásával, ún. kaszkád hasznosítással) valósul meg. Itt olyan rendszereket kell elképzelnünk, amelyek a környezetükben keletkező megújuló energiaforrásokra épülnek olyan hasznosítási kapacitással, amely nem nagyobb az erőforrás megújulási rátájánál, továbbá olyan energiaformákat képesek előállítani, amelyek elsősorban helyben szükegességek. Így a helyi közösségnek érdekévé válik, hogy saját erőforrásait

ne használja túl, valamint olyan energiaformákat termeljen, amelyek helyben felhasználhatók, és így nem kell veszteségek árán messzire szállítani (Fuchsz et al., 2008).

A biomassa elméleti potenciálja

Az elméleti potenciál alapját a nettó primer termék (NPP), vagyis az autotróf növények által termelt elsődleges biomassa jelenti. Ezt az értéket hazánk területén Kohlheb és Kraussmann (2009) 1374 PJ-ra becsülte éves szinten, ami tulajdonképpen az aktuális vegetáció által átlagosan létrehozott biomassa összes mennyiségét jelenti. A számítás alapját itt az egyes jellemző földhasználati módok és természetes vegetációk esetében éves szinten termelődött biomassa mennyisége képezte, melyet statisztikai hozam adatok, valamint növényfiziológiai számítások támasztanak alá. A Magyarország területén termelt elsődleges biomasszából 749 PJ-t, tehát több mint 50%-át, a társadalom saját céljaira használja fel: egyrészt élelemtermelésre, másrészt ipari és energetikai célokra. Ezért további energetikai célra történő hasznosítás csak a fennmaradó keret, vagyis 625 PJ terhére, valamint a 749 PJ-ből keletkező hulladékok (a másodlagos és harmadlagos biomassa) energetikai hasznosításával valósítható meg. Durva becslést készítve átlagosan 56%-os hulladékkeletkezési arány feltételezése mellett a másodlagos biomassa esetén 421 PJ és 28%-os hulladékkeletkezési arányt valószínűsítve a harmadlagos biomassa esetében 13 PJ hulladék keletkezhet, az utóbbi esetben feltételezve hogy a keletkezett NPP mindössze 6%-a jut el a harmadlagos biomassa szintjére (Weizsäcker et al., 1995). Így a keletkezett hulladékok mennyisége összesen 434 PJ. A kettő együtt adja a biomassa energetikai hasznosításának *elméleti potenciálját*, ami 1059 PJ. Ebben az esetben azonban az összes termelt biomasszát és hulladékait az ember használja fel. Így az emberi hasznosítás hatására a többi élőlénynek, a természetes életközösségnek egyre kevesebb energia jut, ezért – különösen természetvédelmi érintettségű területeken – a hasznosítás minimalizálására kell törekedni.

Az NPP alapú becslés mellett további potenciálbecslések is napvilágot láttak, melyek eredményeit az alábbiakban adjuk közre. Az egyes becslések eredményei közötti különbséget az alkalmazott módszertan, mely az egyes fenntarthatósági feltételek miatti korlátozásokat is tartalmazza, valamint a használt adatbázisok közötti eltérések adják. Jelen tanulmányunkban a becslések közötti különbségek részletes elemzésébe nem bocsátkozunk, ezeket az eredményeket a lehetséges potenciálok intervallumainak kijelölésére használjuk.

Fischer és társai (2005) tanulmányában 327,6 PJ energiaforrást határoz meg a magyar fás szárú (fűz és nyár) és energianád

ültetvényt potenciált illetően. Elemzésük a potenciál eléréséhez a jelenlegi termelési viszonyok átalakítását és a termőterület növelését javasolja. E potenciált a jelenlegi erdő- és szántóterületek potenciáljával kiegészítve 176 GJ/fő fás szárú energianövény potenciált becsül, ami a lakosságszámmal felszorozva hazánk esetében 1777 PJ hasznosítható energiát jelentene évente. Ez a szám a jelenlegi hasznosítást is magába foglaló elméleti potenciálnak tekinthető. van Dam és társai (2007) öt forgatókönyvet felállítva 400–1200 PJ elméleti biomassza potenciált állapítanak meg 2030-ra Magyarországon, amely tartalmazza az erdészeti, szántóföldi és az energianövénytermesztési lehetőségeket. Számításaik során Smeets és társai (2004) standardizált módszertant alkalmazták, ahol a rendelkezésre álló területet „kiválóan alkalmas”, „alkalmas”, „kevésbé alkalmas” és „nem alkalmas” kategóriákra osztották. De Wit–Faaij (2010) becslésében 2030-ra körülbelül 500 PJ/év felhasználható biomassza inputot valószínűsít hazánkban, amelynek több mint háromnegyedét energiaültetvényeknek kellene adniuk.

Az EEA (2006) tanulmányában kiemelten figyelembe véve a természetvédelmi szempontokat tettek kísérletet hazánkra vonatkozóan a biomassza hozam megállapítására. A kalkuláció elvégzéséhez az alábbi feltételeket határozták meg: a mezőgazdasági terület 30%-a környezetvédelmi szemléletű gazdálkodás útján művelt; az eddig extenzíven művelt területek továbbra is extenzív művelés alatt maradnak; az intenzíven művelt terület évente 3%-a kikerül a művelés alól (set-aside); alacsony környezeti teherrel járó energianövények termesztése kerül előtérbe; a védett erdőterületeken nem növelhető a kitermelés, és az apadék³ nem gyűjthető, a területen marad; az erdőművelés során a levelek és a gyökerek mindig a területen maradnak.

Tanulmányukban 2020-ra 230 PJ elméleti potenciál kialakítását valószínűsítik a fenti természetvédelmi feltételek betartása mellett (az 1. táblázat⁴ szerinti bontásban).

Céldátum	Mezőgazdaság	Erdő	Hulladék	Összes
2010	50,3	8,4	87,9	146,6
2020	92,1	8,4	87,9	188,4
2030	129,8	16,8	83,8	230,3

1. táblázat: Magyarországi fenntartható biomassza potenciál (PJ/év, EEA 2006, kerekített értékek)

³ Az erdő letermelése során keletkező vágástéri hulladék, amely vékonyabb ágakból és fatönkökből áll. Általában a teljes hozam 20%-át képezi.

⁴ A táblázat tehát a természetvédelmi szempontok figyelembevételének következtében csökkentett elméleti potenciált mutatja az EEA (2006) tanulmány számításai szerint.

A hazai becslések összefoglalásaként megállapítható, hogy az elméleti potenciálszámítások eredményei hasonló értékeket mutatnak: 203–328 PJ (MTA, 2006), 188 PJ (Magyarország Megújuló Energia Hasznosítási Cselekvési Terve, 2010; a továbbiakban MCsT) és 168 PJ (Munkácsy et al., 2014). Ezen értékek a teljes magyar primer energiafogyasztás (963,4 PJ 2014-ben, KSH 2016a) mindössze 17–34%-át jelentik. Az Agrárgazdasági Kutató Intézet (AKI) tanulmánya 87,3 PJ rendelkezésre álló elméleti potenciált határoz meg a jelenlegi termelési viszonyok mellett, figyelembe véve a szalma almozási hasznosítása iránti igényeket is (Popp–Potori, 2011). Ezen potenciál összetételét a 2. táblázat tartalmazza.

Alapanyag-források	PJ/év	millió t/év	GJ/t
<i>Tűzifa</i>	47,5	2,6	18,3
<i>Apadék</i>	15,4	1,1	14
<i>Faipari hulladék</i>	2,2	0,53	14
<i>Gabona szalma</i>		4,5	
<i>Állattartás igénye</i>		1,7	
Energetikai célra hasznosítható szalma	5,4	1,2	15
<i>Kukoricaszár</i>		10,0	
Energetikai célra hasznosítható kukoricaszár	14,4	3,0	16
<i>Szőlővenyige</i>	0,9	0,2	15
<i>Gyümölcsfanyesedék</i>	1,3	0,5	8,4
<i>Energianövény</i>	0,2	0,05	14
<i>Összesen</i>	87,3		

2. táblázat: Az energetikai célra hasznosítható biomassza forrásonkénti összesítése 2010. évi adatok alapján (Popp–Potori, 2011; Tóth, 2012; kerekített értékek)

Az eddigi szakirodalmi adatokat és a saját becslést összesítve tehát a hazai felhasználható elméleti biomassza potenciálra vonatkozó legalacsonyabb értéket az AKI tanulmánya tartalmazza, melynek értéke 87,3 PJ (Popp–Potori, 2011). A legmagasabb becslés pedig 1777 PJ (Fischer et al., 2005). Természetesen e két érték igen tág intervallumot fog közre, amelynek több oka is van. Az AKI becslése óvatos megközelítést tükröz, amely a jelenlegi földhasználat mellett megtermelhető potenciált jelenti, figyelembe véve a már meglévő hasznosítást is. Ezzel szemben Fischer et al. (2005) kalkulációi 2030-ra vonatkoznak, és az energetikai célú földhasználati változtatások adta lehetőségeket is tartalmazzák. A társadalmi metabolizmus (Kohlheb–Krausmann–Weisz, 2006) logikáját követve, ebből a tág

intervallumból minél kevesebbet hasznosítunk, annál kedvezőbbnek mondhatjuk természetvédelmi szempontból a hasznosítást, hiszen annál kevésbé terheljük a természetes ökoszisztémák energiaellátó folyamatait, és annál több alapanyagot hagyunk a természetes ökoszisztémáknak.

A biomassza műszaki potenciálja

Az elméleti potenciálból egyrészt termo-kémiai átalakítással (tüzeléses technológiák) hő- és villamos energia műszaki potenciált, másrészt anaerob erjesztéses átalakítással biogázt, harmadrészt pedig alkoholos erjesztéssel bioüzemanyag műszaki potenciált származtathatunk, ha csak a legfontosabb jelenlegi technológiákkal számolunk.

Tüzeléses technológiával elsősorban a már meglévő területekről származó fás szárú alapanyagokat hasznosíthatjuk, melyek elméleti potenciálja a faipari és gyümölcstermesztési hulladékokkal együtt 67,5 PJ elméleti potenciált jelent az AKI számításai szerint (Popp–Potori, 2011). Ebből helyi ún. kogenerációs rendszerekben⁵ (85%-os összehatásfok és 40%-os villamos hatásfok) 35,1 PJ hőenergia és/vagy 22,3 PJ villamos energia termelhető, vagyis összesen 57,4 PJ műszaki potenciál érhető el.

Az „Erre van előre 2.0” c. tanulmány szerint a tüzeléssel hasznosítható energiaforrások közül az erdei tűzifa elméleti potenciálja 24,5 PJ évente (Munkácsy et al., 2014), amely azonban csak a legnépszerűbb, illetve leggyakoribb tüzelésre használt fafajok (akác, bükk, cser, tölgy) kitermelési arányával számol. Szintén hasznosítható közvetlen tüzeléssel a szántóföldi melléktermékként keletkező kalászosok szalmája. Négymillió hektár mezőgazdasági területen évente átlagosan 19,5 millió tonna mezőgazdasági melléktermék keletkezik, melynek összes energiatartalma Lukács (2009) szerint 212 PJ. E mezőgazdasági melléktermékeket azonban almózásra, takarmányozásra, talajerő-utánpótlásra is hasznosítják, amit le kell vonni ebből a potenciálból. Annak érdekében, hogy ez a potenciál fenntartható módon és akár még szárazabb években is kiaknázható legyen, csupán 37%-át szabad figyelembe venni a szerzők szerint, ami 78,4 PJ-t jelent (Munkácsy et al., 2014). Ez – a tűzifa potenciállal együtt – 103 PJ elméleti potenciált jelent, amelyből 85%-os kogenerációs hatásfokkal 87,5 PJ műszaki potenciál (hő- és villamos energia) állítható elő.

Amennyiben elfogadjuk, hogy a jelenlegi földhasználat nem megfelelő, és az önellátó élelmiszer-termelésen felül fennmaradó területeken erdőt telepítünk, fás és lágyszárú energiaültetvényt hozunk

⁵ A kogeneráció során egyszerre termelnek villamos energiát és hőt, vagyis a villamosenergia-termelés hulladék hőjét is hasznosítják.

létre, mintegy 1,5 millió hektár terület állhat rendelkezésünkre (Kohlheb–Podmaniczky–Skutai, 2010). Ezen a területen további 29 PJ/év erdőből származó és 84,5 PJ/év energiaültetvényről származó alapanyaggal bővíthető az AKI által számított jelenlegi elméleti potenciál. Így összességében a lágyszárú alapanyaggal együtt mintegy 200,8 PJ elméleti potenciál áll rendelkezésünkre égethető alapanyagból. Ebből 160,6 PJ/év hőenergiát (80%-os hatásfok mellett), vagy 66,3 PJ/év villamos energiát (33%-os hatásfok mellett) állíthatunk elő. Természetesen, ha kogenerációt alkalmazunk, és a villamosenergia-termelés közben keletkező hulladékhőt is hasznosítani tudjuk (melyre azonban a nyári időszakban kevésbé van szükség), elérhetjük a 85%-os hatásfokot, és összesen 170,7 PJ energiát állíthatunk elő.

A bioüzemanyag műszaki potenciál meghatározásához feltételezzük, hogy az alapanyagot csak az ország élelmiszer-önellátásához már nem szükséges szántóterületen termesztünk, valamint a termőhelyi adottságok miatt bioüzemanyagként elsősorban – a jelenleg általánosan alkalmazott technológiával – kukorica, illetve búza alapú bioetanolt állítunk elő. E növényekből Magyarország önellátottsági foka 2000–2009 között 157% volt (Popp–Potori, 2011). Ez tette lehetővé, hogy elsősorban kukoricából jelentős mennyiséget (2–3,5 millió tonna) exportált az ország, míg búzából is évente 1–2 millió tonna kerül exportra, ebből azonban csak mintegy 1 millió tonna használható etanoltermelés céljára (Popp–Potori, 2011). Ezen adatok alapján, feltételezve, hogy 1 tonna kukoricából 380 liter etanol, míg 1 tonna búzából valamivel kevesebb, 360 l etanol termelhető, hazánkban a bioetanol műszaki potenciálja 23,8 és 35,9 PJ közé tehető (21,3 liter/MJ energiataralommal számolva).

Magyarország 7,3 PJ energiának megfelelő megtermelt bioüzemanyagot lényegében el is fogyaszt, mellyel a kötelező bekeverési aránynak megfelelően a magyarországi közlekedési szektor energiafogyasztásának 4,2%-át fedezik, a fennmaradó mennyiség exportra kerül. Az 1000 km²-es területegységre vetített fajlagos termelésintenzitási értékeket vizsgálva megállapítható, hogy az ország bioüzemanyag-felhasználása a térségben található, ám rosszabb mezőgazdasági adottságokkal rendelkező országokhoz képest jóval alacsonyabb értéket mutat (EurObserv'ER, 2011), így feltételezhető, hogy a tényleges hasznosítás a jövőben növekedni fog.

Az elsősorban másodlagos és harmadlagos biomasszát hasznosító biogáz eljárás magyarországi felhasználását illetően az egyes becslések között jelentős eltérésekkel találkozhatunk: míg Bai (2007) 77,6 PJ műszaki potenciált határoz meg, addig Marosvölgyi (2004) 157 PJ értékkel számol. Az AKI által készített tanulmány szintén kitér

a biogáztermelés lehetőségeire, és Lovas (2010) adatai alapján határozza meg a lehetséges termelési kapacitás határait. Ennek alapján mintegy 118 PJ műszaki potenciállal (3. táblázat) számol (Lovas, 2010; Popp–Potori, 2011).

Biogáz	Felhasználható hulladék (millió t/év)	Biogáztermelés (milliárd m ³ /év)	Energia-tartalom (PJ/év)
Állati eredetű melléktermék	43	1,6	33,6
Települési hulladék	10	0,7	14,7
Energianövény	30	3,3	69,3
Összesen	83	5,6	117,6

3. táblázat: Biogáz-eljárással előállítható potenciálok (Lovas, 2010; Popp–Potori, 2011; a biogáz energiatartalma 23 MJ/m³)

A fenti műszaki potenciálhoz képest a jelenlegi magyarországi biogáztermelés a 3,2 PJ-nyi energiahozamával (KSH 2016b) meglehetősen szerénynek mondható, és ezzel a középmezőny alján vagyunk az EU tagországok sorában. E szerény felhasználás főként mezőgazdasági üzemekben (57%) történik, ahol az állattartó telepek hulladékát dolgozzák fel, míg 33,5% a szennyvíztelepekhez, 9,1% a hulladéklerakó-telepekhez köthető (Munkácsy et al., 2014).

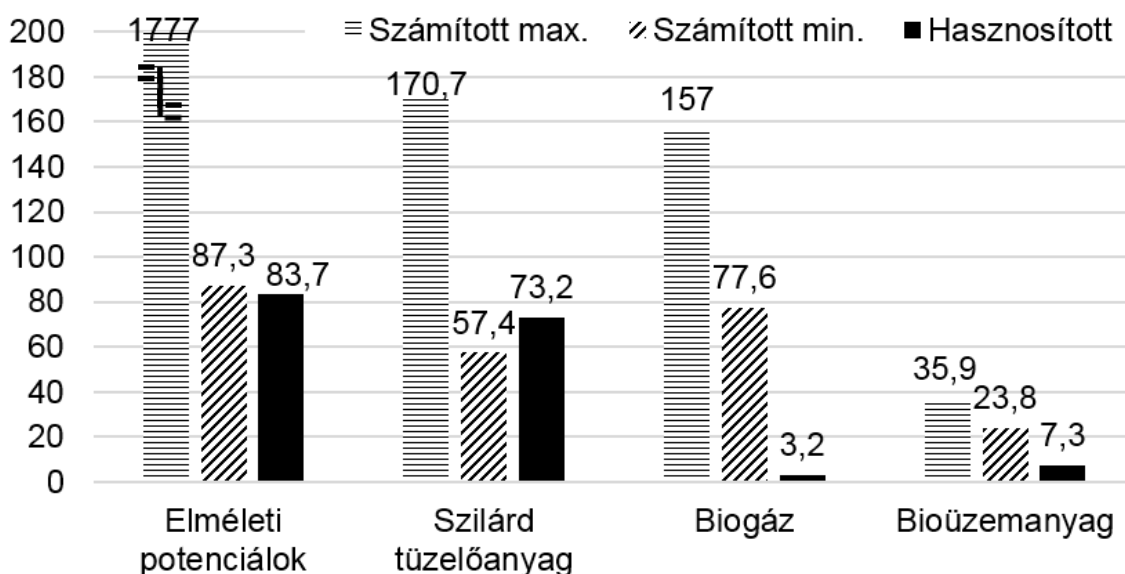
Az „Erre van előre 2.0” energia-forgatókönyv (Munkácsy et al., 2014) szerint a biogáz használatának felfutása 2015-től egyenletesen és gyors ütemben történhetne. Az így 2020-ra jelzett biogázmennyiség 12 PJ energiát képvisel, 2030-ra 30,4 PJ, míg 2040-re 70,4 PJ-lal és 2050-re 80 PJ energiatermeléssel kalkuláltak, mely az MTA és az Európai Környezetvédelmi Ügynökség (European Environmental Agency, EEA) számításaihoz és előrejelzéseikhez képest visszafogottnak tekinthető. Ennek azonban feltétele az optimális gazdasági feltételrendszer és támogatottság.

A biomassza társadalmi-gazdasági potenciálja

A biomassza társadalmi-gazdasági potenciáljának meghatározására vonatkozó irodalmi adat nem áll rendelkezésünkre, hiszen ennek becslése leginkább a már megvalósult fejlesztések vagy az egyes technológiák aktuális beruházási és működési költségeinek és társadalmi támogatottságának ismeretében lehetséges. A jelenlegi tüzfakeresletről azonban elmondható, hogy gyakorlatilag minden tüzfáértékesül, így a tüzeléses technológiák esetében a gazdasági-társadalmi potenciál gyakorlatilag megegyezőnek tekinthető a számított

minimum műszaki potenciállal. Ugyanez a bioüzemanyag és az energianövény alapú biogáz esetében a drága technológia és az élelmiszer-termeléssel való konkurencia miatt kevésbé mondható el, tehát itt jelentős felhasználatlan kapacitások állnak még rendelkezésre.

Az eddigieket összefoglalva 3. ábra az egyes potenciálok mértékét tünteti fel a jelenleg hasznosított mennyiséggel együtt. Ennek alapján látható, hogy mind az elméleti potenciál tekintetében, mind pedig a műszaki potenciálok tekintetében két hasznosítási irány további hasznosítható potenciált valószínűsít még a számított minimum esetében is. Így a biogáz és a bioüzemanyagok esetében jelentős műszaki potenciálok állnak még rendelkezésre. A biogáz-technológia alkalmazása elsősorban a hulladékhasznosítás során indokolt, de bizonyos energianövények erjesztésével termelt biogáz szintén kedvező gazdasági és környezeti szempontból egyaránt. Ez az energianövények nagy gázhozamára vezethető vissza (Fuchsz–Kohlheb, 2015). A bioüzemanyagok termelésénél inkább a hatékonyabb és szélesebb alapanyagbázisra épülő második generációs technológiák fejlesztését érdemes elősegíteni a jelenlegi keményítő alapú első generációs technológiákkal szemben.

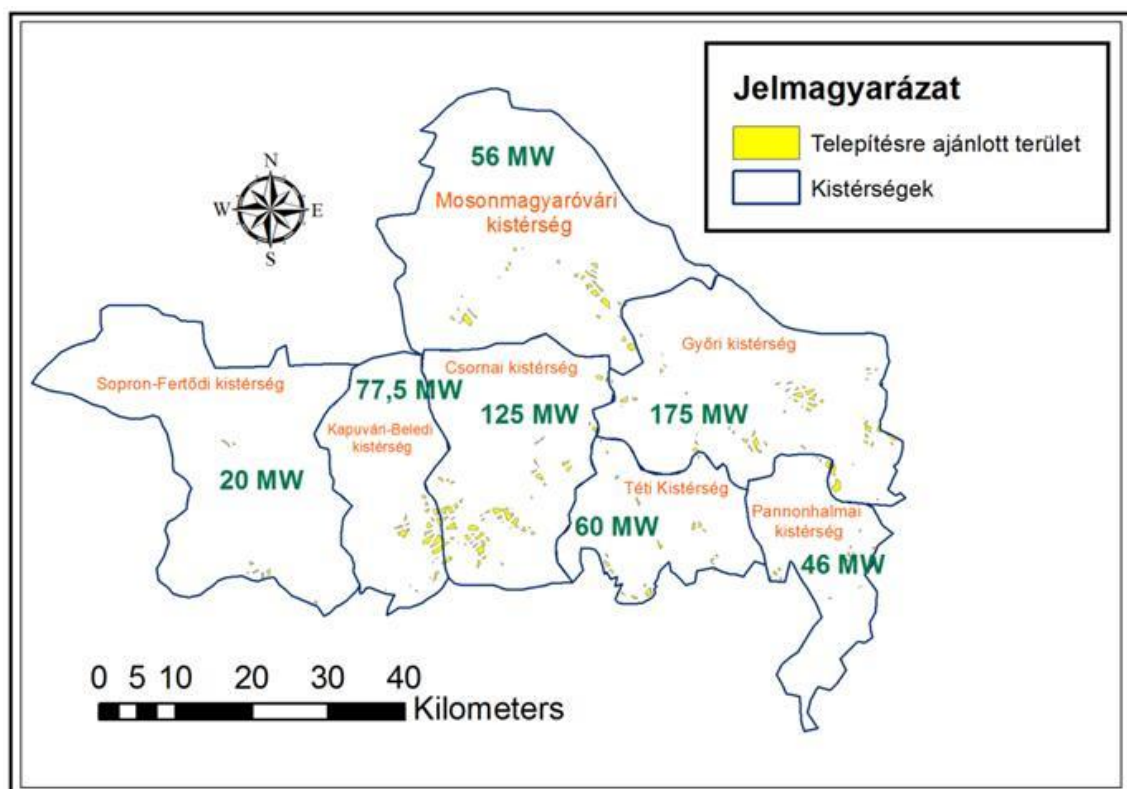


3. ábra: A biomassza összesített elméleti és műszaki potenciálja és hasznosított mennyisége (PJ/év)

Fontos megjegyezni azonban, hogy a tüzeléses technológiák jelenlegi hasznosítása már túllőtt a számított minimum műszaki potenciálon; vagyis ebben az esetben több erőforrást használunk el, mint amennyit az óvatos számítás alapján tanácsos lenne. Ezért itt csak a földhasználat változtatásával lehetne további jelentős potenciálokat teremteni.

Szélenergia

A szél az egyik olyan energiaforrás, amelynek potenciáljai csak a korábbi műszaki megközelítéshez képest újszerű módszerekkel, így például a térinformatika eszközeivel kalkulálhatók. A szélenergiában rejlő valós lehetőségeink feltárása érdekében az ELTE Környezet- és Tájföldrajzi Tanszékén 2004 óta készülnek megyékre, sőt kistérségekre, járásokra lebontott térinformatikai alapú számítások, elemzések (például Munkácsy, 2004; Munkácsy et al., 2007; Munkácsy, 2010; Munkácsy–Kneip, 2011). Az alkalmazott módszer lényege, hogy a jogi szabályozásnak a szélerőművek telepítésére vonatkozó elemeit (különbféle védettséget élvező területeket, például tájképvédelmet vagy ökológiai hálózatot) és az egyéb korlátozó tényezőket (például csúszásveszélyes területeket) térben jelenítik meg (lásd 4. ábra). Ez alapján a fennmaradó terület méretének, adottságainak figyelembevételével határozzák meg a kiépíthető kapacitásokat. Ezt követően vagy a jelenlegi szélerőmű-állomány működési jellemzőinek segítségével, vagy szélmérések adatsorainak segítségével a potenciális éves szélenergia-termelés is becsülhető.



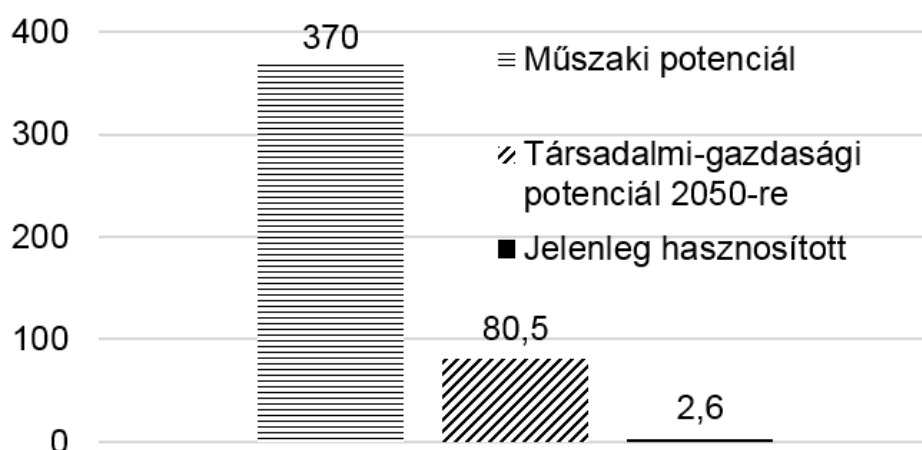
4. ábra: A jogszabályok szigorú figyelembevételével szélerőművek telepítésére alkalmas területek és az ezekhez kapcsolódó kapacitások Győr-Moson-Sopron megyében (Tóth, 2012)

Az eddigiekben említett vizsgálatok alapján leszűrhető, hogy – a szabályozási dokumentumok szigorú alkalmazásával – hazánk területének mintegy 5,5–6%-án tartjuk lehetségesnek szélerőművek telepítését. Ez az érték első megközelítésben alacsonynak tűnik, ugyanakkor a jelenlegi technológiát [így a jelenlegi berendezések teljesítményét (3–5 MW), egymáshoz viszonyított optimális távolságát (park hatás)] alapul véve négyzetkilométerenként körülbelül 10 MW teljesítménnyel számolhatunk, vagyis – figyelembe véve az előbb említett 5,5–6%-os korlátot – hazánk egész területére vetítve 48 800 MW ($\pm 10\%$) technikai szélenergia-potenciál áll rendelkezésre. Ehhez képest a szélerőművek jelenlegi beépített kapacitása csak mintegy 330 MW. Levonhatjuk tehát a következtetést, hogy a szélenergetikai irányváltás hazai végrehajtását nem a természet- és tájvédelem fogja megakadályozni, hiszen hatalmas lehetőségeink vannak még, amelyeket anélkül tudunk igénybe venni, hogy a természet, így leginkább a madárvilág és a denevérek állományainak, valamint a tájképi értékeknek a védelme sérülne.

Az előbb jelzett 48 800 MW-nyi szélerőművel a már működő hazai szélerőművek üzemeltetési adatai (2350 csúcskihasználási óraszám, MEKH–MAVIR, 2013) alapján évi 370 PJ ($\pm 10\%$) villamos energia termelése lenne lehetséges (ezt tekinthetjük műszaki potenciálnak), amely a 2014. év hazai villamosenergia-termelésének mintegy 350%-a (KSH, 2016c). Ugyanakkor lényeges megjegyeznünk, hogy ez az összevetés csak a nagyságrendek érzékeltetése szempontjából fontos, a valóságban nem reális ekkora mértékű elterjedést feltételezni egyetlen megújuló technológiára sem. Helyesebb, ha a megújuló energiaforrásoknak minél szélesebb körét alkalmazzuk. Különösen, hogy a szélenergia hasznosítását időjárástól való függősége nehezíti. Ám ennek a problémának a megoldására számos eszközt – így az energiatárolás többféle módját, a fogyasztó oldali befolyásolás eszközeit, a nemzetközi áramkereskedelemben rejlő lehetőségeket – ma már több országban igen eredményesen alkalmaznak. Ennek köszönhetően Dániában vagy Németország egyes térségeiben (így akár a kontinentális fekvésű Brandenburgban vagy Szász-Anhalt tartományokban is) ma már nem számít ritkaságnak, hogy a szélerőművek által termelt áram mennyisége messze meghaladja a háztartások és a termelő szektor (ipar, mezőgazdaság, szolgáltatók) igényeit (energinet.dk; Ender, 2015).

Az iménti kalkuláció csak a műszaki szempontokat és a jogszabályi környezetet mérlegeli, ám figyelmen kívül hagyja azokat a korlátokat, amelyeket a társadalom tűrőképessége vagy a gazdaság korlátozott teherbírása jelent egy adott földrajzi térben. Éppen ezért

szükséges az előzőekre figyelemmel további számításokat is elvégezni. A más földrajzi térségekben már megvalósult projektek sokasága alapján következtethetünk a társadalom tűrőképességére. Munkácsy és Kneip (2011) szerint hazánk 2050-ig elérhető társadalmi-gazdasági szélenergia-potenciálja 7 623 és 10 694 MW szélerőmű teljesítmény közé tehető. Ezzel és a jelenleg átlagosnak tekinthető 2 350 csúcskihasználási órással számolva 64,5 és 94,5 PJ (18 és 26 TWh) közötti áramtermelés valószínűsíthető, ami hazánk 2040–2050-re vetített társadalmi-gazdasági szélenergia-potenciáljaként értelmezhető (Munkácsy–Kneip, 2011) (5. ábra). Ezek az adatok nemzetközi adatsorok elemzése és összevetése eredményeképpen adódtak, amelyben egy ország vagy hazánkhoz hasonló méretű ország rész (így például a kelet-német tartományok) már megvalósult, működő kapacitásainak területi (kW/km²) és lakossági (MW/ezer fő) fajlagos adatsorait használták fel és alkalmazták hazai viszonyokra.



5. ábra: A szélenergia potenciálok és a szélerőművi áramtermelés hazánkban (PJ/év)

Az „Erre van előre 2.0” energia-forgatókönyv (Munkácsy et al., 2014) már a gazdaság teljesítményével (GDP-vel) is korrigál, és így arra a megállapításra jut, hogy a kelet-német tartományok 20–22 év alatt megvalósult beruházásai, illetve az érintett tartományok GDP-je alapján (14 400 MW) hazánkban, az alacsonyabb gazdasági teljesítmény okán csak mintegy 9 517 MW ($\pm 15\%$) kapacitás kiépítése látszik megvalósíthatónak a 2050-es évekig. Ekkora teljesítménnyel – a MEKH–MAVIR (2013) által használt évi 2350 óra csúcskihasználási órással kalkulálva – 80,5 PJ ($\pm 15\%$) vagyis 22 TWh ($\pm 15\%$) villamos energia termelése lehetséges a jelenleg alkalmazott szélerőmű-technológiával (összehasonlításképpen 2012-ben 2,8; 2013-ban 2,6; 2014-ben 2,4 PJ volt a szélerőművi villamosenergia-

termelés, KSH, 2016b). Összegezve tehát jelenleg ezt tekintjük hazánk társadalmi-gazdasági szélenergia-potenciáljának 2050-es előretétekintésben. Ez az adat minden bizonnyal alulról közelíti a valós lehetőségeinket, hiszen a szélerőművek működtetése már most is az egyik legolcsóbb zöldenergia-termelési mód, ráadásul 2050-ig várhatóan a turbinák technológiája fejlődni, hatásfoka jelentős mértékben javulni fog.

Napenergia

A hazai napenergia-adottságok európai viszonylatban kifejezetten jónak mondhatók, hiszen a napsütéses órák száma 1900–2200 óra körül alakul évente, míg a napelemes európai piacvezető Németországban alig 1500–1800 óra. A maximálisan hasznosítható elméleti potenciál a napsugarak merőleges beesését biztosító felszínen 2 900 kWh/m²/év (10 500 MJ/m²/év) (Móczár–Farkas, 1999; Pálffy, 2008). Amennyiben a tényleges domborzat figyelembevételével kalkulálunk, 1100–1400 kWh/m²/év (4000–5000 MJ/m²/év) elméleti potenciállal számolhatunk (szórt és direkt sugárzást együtt), amely hazánk területére vetítve nagyságrendileg 400–450 ezer PJ. Ezt tekinthetjük a napenergia elméleti potenciáljának.

A műszakilag hasznosítható potenciál meghatározása az éves elméleti potenciálból kiindulva a napenergia hasznosítására alkalmas berendezések hatásfoka alapján számítható. A 4. és 5. táblázat a napelemek (villamosenergia-termelés), illetve a napkollektorok (hőenergia-előállítás) energiaátalakítási hatásfokát mutatja. Eszerint a napelemek körülbelül 15%-os, míg a kollektorok 60–80%-os átlagos hatásfokot érhetnek el. Természetesen a napenergiás rendszerek által termelt hasznos energia még kevesebb, hiszen azt tovább csökkentik a rendszerek különböző veszteségei (például az inverterek körülbelül 5%-os átalakítási vesztesége, vagy a melegvíz-előállítás során fellépő körülbelül 15–20%-os hőveszteség; Farkas, 2008).

<i>Napelem típusa</i>	<i>Hatásfok, %</i>
Monokristályos szilícium	25
Polikristályos szilícium	20
Amorf szilícium	16
Gallium-arszenid	28
Kadmium-tellurid	12
Organikus	8

4. táblázat: Néhány kereskedelmi forgalomban kapható napelemtípus elméleti hatásfoka (Green et al., 2011)

<i>Kollektortípus</i>	<i>Optikai hatásfok, %</i>
Síkkollektor	65–85
Vákuumos síkkollektor	72–80
Vákuumcsöves kollektor	64–80

5. táblázat: Napkollektortípusok optikai hatásfoka⁶ (Streicher, 2006)

A fenti hatásfok mellett figyelembe kell venni a napsugárzás intenzitását és a napsütéses órák számát is, így hazánkban átlagosan 1200–1300 kWh/m²/év elméleti energiahozammal számolhatunk egységnyi területre vonatkoztatva. Ez 1 kW teljesítményre (7–8 m²) vetítve 1100–1200 kWh/év villamos energiát termel, ami egy m² felületre vetítve ~160 kWh/m²/év műszaki potenciált jelent. Véletlen egybeesés, hogy egy átlagos hazai fogyasztó jelenleg nagyjából ennyi áramot használ fel évente. A napkollektorok műszaki potenciálja az 5. táblázat hatásfoka alapján 417 kWh/m²/év nagyságú (Farkas, 2010). A továbbiakban a műszaki potenciál országos nagysága attól függ, hogy mekkora területet tudunk napelemekkel és/vagy napkollektorokkal lefedni a kívánt energiatermelés érdekében.

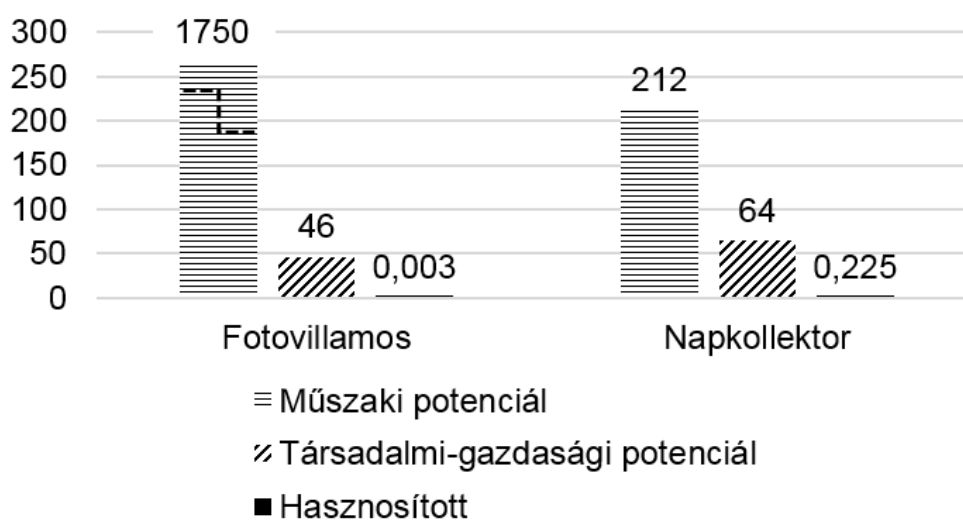
Ha az ország teljes, műszakilag hasznosítható potenciálját kísérjük meg becsülni, fontos tényező, hogy az ország területének csak bizonyos hányada alkalmas napelemek és kollektorok elhelyezésére. Pálfy (2005) számításaiban 4051,58 km² felületet tart beépíthetőnek, amelyen 30–60%-os dőlésszögű telepítés esetén csupán 10%-os napelem hatásfokot feltételezve 1750 PJ/év fotovillamos műszaki potenciál termelését teszi lehetővé (Pálfy, 2005; Farkas, 2010). A beépíthető területek között egyaránt szerepelnek épületek, közlekedési infrastruktúra és használaton kívüli mezőgazdasági épületek is. E potenciál elérése tehát a földhasználat változását is maga után vonja. Ehhez képest elgondolkodtató, hogy az ország jelenlegi napenergia-hasznosítása egyelőre csupán 0,3 PJ (KSH, 2016b).

A Pálfy (2005) által meghatározott területi kategóriák közül a használati melegvíz-igénnyel fellépő épülettípusok felületeit összesítve mintegy 31 km² területet kapunk, ahol 30–45%-os dőlésszöggel helyezhetők el kollektorok. Ezen a felületen 400 kWh éves hőtermelést feltételezve 0,446 PJ hőenergia állítható elő. Ez a terület azonban vagy napelem-, vagy napkollektor-rendszerek telepítésére használható, és így a termelt energia sem összegeezhető.

⁶ A kollektor fényelnyelő képességét mutatja, ahol a veszteség oka a visszavert fény (Streicher 2006).

Munkácsy et al. (2014) szerint az ökológiai szempontokat mérlegelve, csak a beépített és 2050-ig valószínűsíthetően beépülő infrastruktúra (vagyis épületek, parkolók, vasútvonalak, autópályák) alkalmas tájolású felületeit figyelembe véve 232,6 km² felületen valósulhatna meg aktív napenergia-hasznosítás fenntartható módon. Hibrid kollektoros technológiával (PVT), mégpedig annak áramtermelésre optimalizált változatával számolva, 33 605 MW kapacitással 152 PJ áram és 212 PJ hőenergia termelése lenne lehetséges. Figyelembe véve, hogy az ország összes energiafelhasználása 963,4 PJ volt 2014-ban (KSH, 2016a), ez igen tekintélyes mennyiség.

A 6. ábra a különböző országos műszaki és gazdasági-társadalmi potenciálokat hasonlítja össze a jelenleg hasznosított napenergia mennyiségével.



6. ábra: Az elméleti és a műszaki napenergia potenciálok, valamint a hasznosított mennyiségek (PJ/év, Munkácsy et al., 2014)

A napenergia társadalmi-gazdasági potenciálját a már megvalósult bajorországi napenergia-hasznosítási fejlesztések adatsorai alapján a területi, népességszámbeli és a GDP alapján mért eltérések figyelembevételével határozta meg Munkácsy et al. (2014). Eszerint az áram- és hőtermelésre egyaránt alkalmas hibrid napkollektoros (PVT) rendszereink összkapacitása 10 165 MWp ($\pm 25\%$) lehetne 2050-ig, mellyel 71 millió m² kedvezően beépíthető területen 46 PJ ($\pm 25\%$) villamos energia és 64 PJ ($\pm 25\%$) hőenergia termelése lenne megvalósítható.

Érdemes megemlíteni, hogy Németország legjobb adottságú tartományában, Bajorországban (70 550 km²) már 11 100 MW a beépített napelem-kapacitás, ami több, mint amennyi az összes hazai villamos erőmű együttes kapacitása (AEE, 2015). Egy bajor lakosra vetítve ez ~ 1 kW átlagos napelem-teljesítményt jelent, ami éppen

egyezik a már fönt hivatkozott egy fogyasztó által igényelt éves mennyiséggel! Megvalósulni látszik tehát Hermann Scheer (2004) víziója, amit *Napstratégia* című munkájában részletesen bemutat, és amelyet a „nép energiájának mobilizálásaként” említ. A változás gyökeres politikai fordulattal is járhat, hiszen az elmúlt években mintegy kétmillió német család jelent meg termelőként az energiarendszerben, ami mintegy 4,4 millió szavazót jelent a választások alkalmával – ez nyilván komoly és egyre jelentősebb nyomásgyakorlásra kínál lehetőséget az energetikai irányváltás frontján.

Környezeti hő

A környezeti hő fogalma egyelőre még szakmai berkekben sem kellő mértékben elterjedt. Beletartozik a mélységi geotermikus energia, és a felszín közeli földhő, amely tulajdonképpen a talajban felhalmozódott napenergia), a hidrotermikus (a felszíni vizekben hő formájában tárolt energia) és a légtermikus energia (hő formájában a környezeti levegőben tárolt energia) (lásd Európai Parlament és a Tanács 2009/28/EK irányelve).

A mélységi geotermikus energia a Föld belsejében lévő radioaktív izotópok bomlásából származik. Az így jelentkező hőenergiát kétféleképpen lehet hasznosítani. Alapesetben kitermelő kutak segítségével felhozzák a fluidumot a felszínre, és fűtésre, valamint használati melegvíz-előállításra használják. A hosszú távú energianyerés érdekében igen fontos, hogy a lehűlt folyadékot visszasajtoló kutak segítségével visszajuttassák. További lehetőséget jelent, ha a kitermelés eredményeképpen kellően magas hőmérsékletű (>120–150 °C) fluidum kerül a felszínre, hiszen ez esetben akár villamos erőművek üzemeltetésére is lehetőség van. A többi típus forrása döntően a Nap (MacKay, 2009), tulajdonképpen közvetett napenergia-hasznosítás történik hőszivattyús technológiával, melynek eredménye minden esetben fűtési célú hőenergia vagy használati meleg víz előállítása.

Hazánkban meghatározóan a mélységi geotermikus energia (hő)hasznosítása jellemző, sajnos igen pazarló módon: évi 26–38 PJ hőenergiával rendelkező meleg vizet hozunk felszínre, és ebből csak 4,7 PJ-t hasznosítunk (KSH, 2016b). Elvileg geotermikus áramtermelésre is lenne mód hazánkban, a lehetőségek feltérképezésénél azonban egyelőre nem sikerült továbblépni.

Az elméleti potenciál értékét Rezessy és társai (2005) a negyedik-dőszaki és felső-pannóniai korú képződmények hőmennyisége alapján 5 380 000 PJ-ra becsülte. A technikai potenciál értéke a szakirodalom alapján a mélységi geotermikus energiára 65 PJ, a felszín közeli, talajszondás és talajkollektoros hasznosításra 35 PJ (Ádám et al., 2009).

A hőszivattyúzás potenciálját nehéz meghatározni, ugyanis egyfelől a környezeti hőmennyiség lényegében kimeríthetetlen energiaforrást jelent, másfelől azonban a fenntarthatóság szempontjának csak a megújuló alapú villamos árammal működő hőszivattyúk felelnek meg – azok sem minden esetben. Mindezek tükrében véleményünk szerint a környezeti szempontból is elfogadható potenciált valójában a megújuló alapú villamos energia mennyisége határozza meg. Az „Erre van előre” kutatás „best case” szoftveres elemzése szerint 2050-re a lakosság és a szolgáltató szektor 27,34 PJ villamos energiát fog fogyasztani, ami teljes egészében megújuló forrásból fog származni. Ennek a mennyiségnek legfeljebb a felét lehet hőszivattyúzásra fordítani. Ennek, és egy relatív magas, de 35 éves távlatban elérhetőnek tűnő 3,5–4 jósági foknak (COP) figyelembevételével számítható a hőszivattyúzás társadalmi-gazdasági potenciálja, amely nagyságrendileg 50–55 PJ hőenergiának adódik (Munkácsy–Krassován, 2011).

Vízenergia

Magyarország földrajzi adottságai nem kedvezőek a vízenergia hasznosítására, mert nincsenek nagy esésű és vízhozamú folyók, ennek ellenére nem hagyhatjuk figyelmen kívül ezt az energiaforrást sem. Meg kell határozni a szerény mértékű, de meglévő adottságainkat, mert a vízenergia átgondolt, fenntartható léptékben való használata számos előnnyel jár: folyamatosan képes megújuló villamos energiát termelni üzemanyag és közvetlen károsanyag-kibocsátás nélkül, gyorsan képes reagálni a villamos rendszer igényeire, helyben kínál munkát és bevételeket (Sáfián, 2011).

A vízenergia-hasznosítás gazdag múlttal rendelkezik hazánkban is. Az 1800-as évek második felében több ezer vízimalom működött az országban (Kádár, 2010). Az ehhez hasonló, kis léptékű megoldások napjainkban újra előtérbe kerültek, hazánkban is megjelentek a mikroléptékű alkalmazások. Ezeket is figyelembe véve vízenergia-hasznosításunk a meglévő 50 MW-nyi vízerőművel az utóbbi években 0,8–1,1 PJ villamos energia (KSH, 2016b).

Hazánk elméleti vízenergia-potenciálja 27 PJ körül alakul, amely körülbelül 1 400 MW-nyi kapacitásnak felel meg; míg a technikai potenciál értékét 16,2–16,5 PJ-ra teszik, amely 1 000 MW összteljesítményt jelentene (Szeredi et al., 2010). E számítások magukban foglalják a legnagyobb vízenergia-potenciállal rendelkező Dunán és Tiszán épülő vízerőművek terveit is. Jelen esetben azonban, tekintve, hogy ökológiai szempontból is fenntartható energiarendszer tervezése a célunk, társadalmi-gazdasági potenciálbecslésünk nem tartalmazza a fenti óriáserőművek megvalósításának lehetőségét. A sík

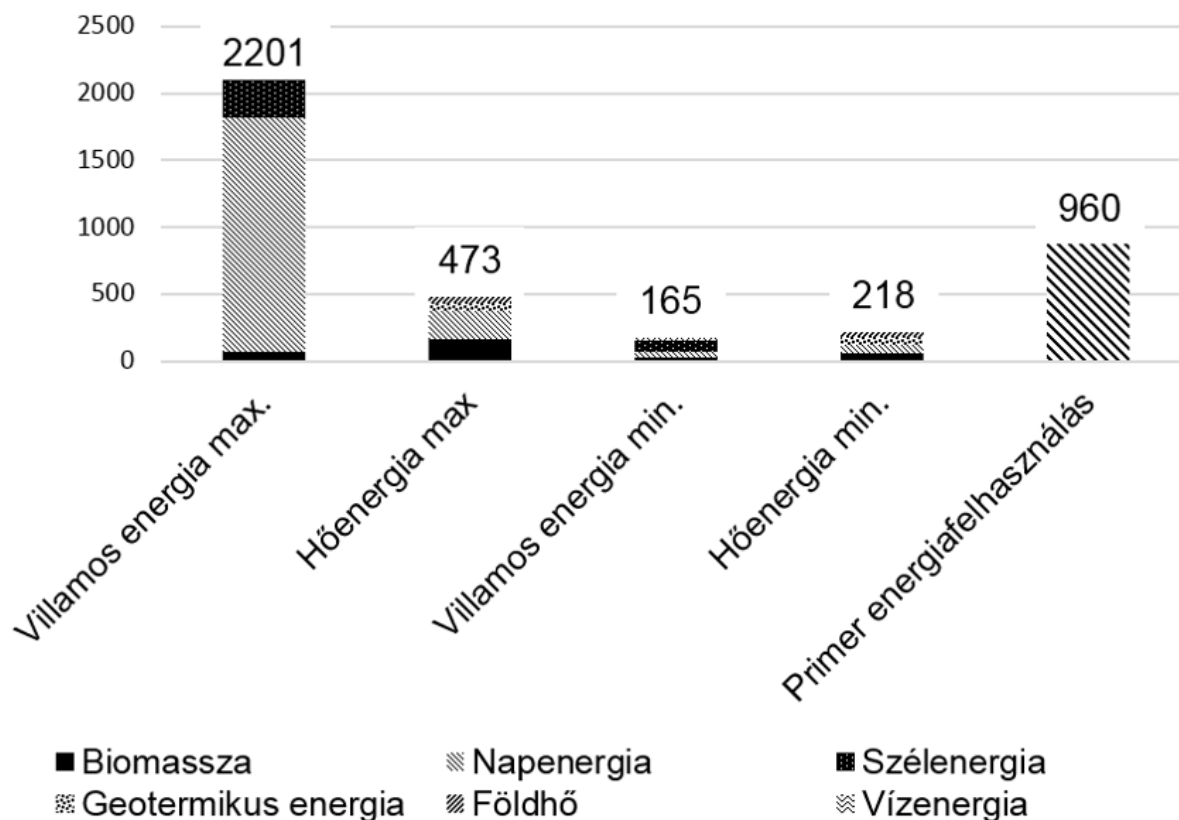
vidéki folyókon létesülő, nagy (több 10 MW) teljesítményű erőművek drasztikus beavatkozást jelentenek a vízi és folyóparti ökoszisztémába, megváltoztatják a természetes folyódinamikát, ezért az ilyen típusú vízerőműveknek nincs realitása hazánkban.

Megítélésünk szerint az áramtermelés kizárólag kis léptékű megoldásokkal bővíthető. A meglévő duzzasztók vízerőművé alakításával, valamint a hőerőművek visszaengedett hűtővizének hasznosításával további környezeti beavatkozás nélkül tudnánk energiát nyerni. A szakértők szerint a Duna szigetközi elterelése kapcsán épült dunakiliti duzzasztómű például 20–25 MW beépítésére lenne alkalmas. Ezek a módszerek összesen 40 MW kapacitást eredményeznének (Szeredi, 2009). További lehetőség a kis és törpeerőművek építése a kisebb vízfolyásokra, valamint a meglévők bővítése, rekonstrukciója. Ezek a létesítmények csak minimális környezeti károkat okoznak, és könnyebben biztosítható az ökológiai átjárhatóság, például hallépcsővel (KvVM, 2009). A hajómalmok elvén működő kis erőművekkel, illetve mederfenéki átáramlásos turbinák használatával a nagyobb folyóink energiáját is hasznosítani lehetne jelentős környezeti hatások nélkül.

Mindezek figyelembevételével a fenntarthatóan, kis léptékben megvalósítható társadalmi-gazdasági vízenergia-potenciált 2 PJ-ban határozhatjuk meg (Sáfián, 2009), ez a meglévő kapacitásokon túl további 60 MW körüli kapacitást jelent. Ez részben a meglévő egységek kapacitásbővítésével, részben új kis és törpeerőművekkel lenne elérhető.

A megújuló energiaforrások alkalmazási lehetőségei hazánkban – összegzés

Összefoglalva az eddigiekben részletesen is bemutatott elméleti és műszaki potenciálokat, a 7. ábra mutatja a maximális és minimális műszaki potenciál értékeket összevetve az ország 2014-ben mért tényleges energiafogyasztásával (963,4 PJ; KSH, 2016a). Öröndetes, hogy a becsült potenciálok felső értékei a villamos áram tekintetében meghaladják az ország jelenlegi energiafogyasztását. A társadalmi-gazdasági potenciálra vonatkozó becslések a jelenlegi fogyasztás körülbelül 1/3-át adják. Ez a villamosenergia-felhasználás szempontjából nem ad okot aggodalomra, hiszen a jelenlegi 152 PJ (KSH, 2016c) áramfelhasználás fedezhető volna akár megújuló energiaforrásokkal is. Ez még a jövőre előretekintve is reményt keltő, hiszen az „Erre van előre” forgatókönyv szoftveres elemzése szerint az áramfelhasználás hatékonyságának jelentős javításával elérhető, hogy akár az elektromos közlekedés és a hőszivattyús hőtermelésre való áttérés sem eredményez növekedést az áramfelhasználásban!



7. ábra: A műszaki potenciálok összesített értéke (PJ/év)

Figyelemre méltó továbbá, hogy a műszaki potenciálok esetében a napenergia túlsúlya látható, melyet az ország jelenlegi megújulóenergia-termelési összetétele egyáltalán nem tükröz, hiszen a biomassza-hasznosítás részaránya (80% körül) igen jelentős.

Szót kell ejtenünk a hőenergia-termelési potenciál és a jelenlegi energiafogyasztás különbségéről is, feltételezve, hogy ennek mintegy 40%-a épületekben és többnyire fűtési energiára használandó el. Tehát az így elhasznált energia minimum fele épületenergetikai beruházásokkal könnyen megtakarítható lenne. Ezzel a jelenlegi hőenergia-fogyasztás mintegy 200 PJ-ra lenne csökkenthető. Ez a mennyiség pedig gond nélkül fedezhető megújuló alapú energiatermeléssel, és akkor a zöld villamos energia adta egyéb (hőszivattyún túli) hőtermelési lehetőségeket nem is vettük figyelembe.

Zárszó

Munkánkban azt vizsgáltuk meg, hogy a hazai megújuló energiaforrások milyen erőforráskészlettel (potenciállal) rendelkeznek, és ezek milyen mértékben hasznosíthatók a fenntarthatóság szempontjainak figyelembevételével. Ennek ismerete jövőbeli szélesebb körű alkalmazásuk tervezésének alapfeltétele. Az efféle elemzések időszerűségéhez nem fér kétség, hiszen az Európai Unióban az utóbbi 15

esztendő egyértelműen a megújuló energiaforrások kapacitásának radikális térnyerését hozta. A fejlődés iránya még határozottabban látszik, ha azokat a területeket is felsoroljuk, ahol leépítések történtek: ezek az atomenergia, az olaj- és széntüzelés, ahol ugyanezen időszakban 10–20 ezer MW-os leépítések történtek (Corbetta, 2015). Az önellátás (a kiszolgáltatottság csökkentése), az energiabiztonság, valamint a környezetvédelem szempontjainak felértékelődése okán immár egyre több ország kormánya döntött a decentralizált megoldások, ezen belül pedig a megújuló energiaforrásokra való teljes áttérés mellett. Ott a mérnöktársadalom ezzel kapcsolatban manapság már nem azon vitatkozik, hogy megvalósítható-e egyáltalán az átalás; a kérdés sokkal inkább az, hogy csak 2050-re, vagy már korábban (fast energy transition).

Az eddig hasznosított és még rendelkezésre álló potenciálok ismeretében határozottan kijelenthető, hogy a meglévő lehetőségeinket nem használtuk ki, és Magyarországnak is megvan az esélye arra, hogy energiaigényét akár teljes egészében megújuló energiaforrásokkal fedezze. Ennek feltételeként a hatékonyságnövelés és a takarékosság terén is további komoly előrelépések szükségesek. Emellett az energiatárolás hazánkban alkalmazható megoldásait (tehát a szivattyús tározást például nem, a sűrített levegős tárolást annál inkább) kutatni és alkalmazni szükséges, és az energiatermelés időbeliségére figyelemmel működő intelligens energiarendszerek kialakítását sem halogathatjuk. A változáshoz nélkülözhetetlen társadalmi támogatást demonstrációs és egyéb ismeretterjesztő programokkal kell növelni, a hatékony és transzparens szakpolitikai eszközök bevezetése mellett. Így szükséges a jelenlegi kötelező átvételi támogatási rendszer felülvizsgálata és az egyes megújuló energiaforrások sajátosságait figyelembe vevő tarifarendszer kialakítása, valamint hosszabb távon zöld bizonyítvány rendszer bevezetése is (vö. Kohlheb, 2015).

Az energiademokrácia lényege, hogy a korábban csak fogyasztóként megjelenő szereplők már termelők is egyben, ami lehetőséget és felelősséget is jelent (Kunze–Becker, 2014). A lehetőségeik kihasználásához és az energiademokráciát szolgáló decentralizált energiarendszer működtetéséhez azonban új ismeretekre, motivációkra van szükség, amely Magyarországon még nem jellemzi az energiahasználók zömét. Ugyanakkor a közelmúlt állami nagyberuházásai (például pécsi napelempark létrehozása az MVM leányvállalata által) arra engednek következtetni, hogy hazánkban nem is lesz sokáig lehetőség a német példát követve az energiarendszerekben is demokratizálódási folyamatot megvalósítani. Így a lakosság fokozott bevonását és mozgósítását elősegítő energiapolitikai nyitás

valószínűleg hazánkban elmarad vagy jobb esetben várat magára, és helyette a korábbi centralizált energiatermelők valósítják meg azokat a beruházásokat, amelyeket a lakosság tehetett volna meg. Ezzel lemondunk energia-önrendelkezésünkről és az energiaellátás a korábbi formában folyik tovább. A megújuló energiaforrások elterjedése szempontjából ez két hátránnyal fog járni. Egyrészt a lakosság oldalán meglévő megújuló energiapotenciál hasznosítása (például napelemek számára alkalmas háztetők) nem valósul meg, másrészt olyan nagy léptékű beruházások jönnek létre, melyek már jelentős környezeti és táji változásokkal is járnak (például nagy biomassza erőművek, napelemparkok, az atomerőmű-építésről nem is beszélve).

A potenciálok kapcsán további kutatási feladat a megújuló energiákkal kapcsolatos lehetőségek kisebb léptékű, pontosabb regionális felmérése, és ennek alapján a helyi energiastratégiák elkészítése és végrehajtása, melyek megteremtik egy-egy térség önfenntartó, decentralizált, megújuló alapú energiarendszerének kiépítését.

HIVATKOZÁSOK

Ádám B. – Kujbus A. – Kurunczi M. – Szanyi J. – Unk J.-né (2009): *Javaslat a geotermikus energia hazai hasznosításának növelésére*; Kézirat. Kistelek, február 18.

AEE (2014): *Landesinfo: Bayern — Solar*, Agentur für Erneuerbare Energien (letöltve: 2014. 02. 10.) <http://www.foederal-erneuerbar.de/landesinfo/bundesland/BY/kategorie/solar>

Bai A. (szerk.) (2007): *A biogáz*; Száz magyar falu könyvesháza, Budapest

Bánfalvy A. – Berghold B. – Böhm J. – Krajnyik Zs. – Szabó K. (2007): *A mezőgazdasági hulladékok és termékek energetikai célú hasznosítása*; EMLA Alapítvány a Környezeti Oktatás Támogatására, PONT Intézet, Budapest

Corbetta, G. – Pineda, I. – Wilkes, J. (2015): *Wind in Power*, 2014 European Statistics, European Wind Energy Association, <http://www.ewea.org/fileadmin/files/library/publications/statistics/EWEA-Annual-Statistics-2014.pdf> (letöltve: 2015. 06. 21.)

de Wit, M. – Faaij, A. (2010): *European biomass resource potential and costs*; Biomass & bioenergy 34, 188–202.

DWIA (é. n.): *Statistics on the development of wind power in Denmark 2003–2013*; (Danish Wind Industry Association) <http://www.>

windpower.org/en/knowledge/statistics/the_danish_market.html
(letöltve: 2015. 06. 21.)

Ender, C. (2015): *Wind Energy Use in Germany*; Dewi Magazin 46.

Energinet.dk adatbázis (www.energinet.dk; letöltve: 2015. 05. 12.)

EurObserv'ER (2011): *Biofuels Barometer*; http://www.eurobserv-er.org/pdf/biofuels_2011.pdf (letöltve: 2015. 05. 12.)

EurObserv'ER (2013): *Heat Pump Barometer 2013*; http://www.energies-renouvelables.org/observ-er/stat_baro/observ/baro218_en.pdf (letöltve: 2015. 05. 12.)

EurObserv'ER (2014a): *Photovoltaic Barometer 2014*; http://www.energies-renouvelables.org/observ-er/stat_baro/observ/baro-jdp11.pdf (letöltve: 2015. 05. 12.)

EurObserv'ER (2014b): *Solar thermal and concentrated solar power barometer 2014*; http://www.energies-renouvelables.org/observ-er/stat_baro/observ/baro221_en.pdf (letöltve: 2015. 05. 12.)

EurObserv'ER (2014c): *Wind power barometer 2014*; EurObserv'ER http://www.energies-renouvelables.org/observ-er/stat_baro/observ/baro-jde14-gb.pdf (letöltve: 2015. 05. 12.)

EurObserv'ER (2014d): *The State of Renewable Energies in Europe*; http://www.energies-renouvelables.org/observ-er/stat_baro/barobilan/barobilan14_EN.pdf (letöltve: 2015. 05. 12.)

EurObserv'ER (2014e): *Biogas barometer 2014*; http://www.energies-renouvelables.org/observ-er/stat_baro/observ/baro224_Biogas_en.pdf (letöltve: 2015. 05. 12.)

EurObserv'ER (2014f): *EurObserv'ER annual report highlights EU bioenergy sector*; <http://biomassmagazine.com/articles/10208/euroobserver-annual-report-highlights-eu-bioenergy-sector>. (letöltve: 2015. 06. 29.)

EEA (2006): *How much bioenergy can Europe produce without harming the environment?* European Environmental Agency, Report no. 7, Copenhagen

Farkas I. (2008): szóbeli közlés, Szent István Egyetem

Farkas I. (2010): *A napenergia hasznosításának hazai lehetőségei*; Magyar Tudomány 2010/8

Fischer, G. – Prieler, S. – van Velthuisen, H. (2005): *Biomass potentials for miscanthus, willow and poplar: results and policy implications for Eastern Europe, Northern and Central Asia*; BIOMASS AND BIO-ENERGY 28, 119–132.

Fuchsz M. – Kohlheb N. (2015): *Comparison of the environmental effects of manure- and crop-based agricultural biogas plants using life cycle analysis*; Journal of Cleaner Production 86, 60–66.

Fuchsz M. – Kohlheb N. – Porteleki A. (2008): *A megújuló energia-termelés tervezési keretei és módszerei környezetgazdálkodási szempontból I.*; Bioenergia 3 (2), 19–20.

Green, M. A. – Emery, K. – Hishikawa, Y. – Warta, W. (2011): Solar cell efficiency tables. PROGRESS IN PHOTOVOLTAICS: RESEARCH AND APPLICATIONS. 19, 84–92. <http://www.eecs.berkeley.edu/news/SCefficiencytablesV37.pdf> (letöltve: 2016. 02. 25.)

Gyulai I. (2011): *Biomassza-dilemma*; 4. átdolgozott kiadás, MTVSZ

Haberl, H. (2001): *The energetic metabolism of societies, Part I: Accounting concepts*; Journal of Industrial Ecology 5, 11–33.

IPCC (2014): *Climate Change 2014. Synthesis Report*; http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/SYR_AR5_LONGERREPORT_Corr2.pdf (letöltve 2015.02.18.)

Kádár P. (2010): *A vízimalmoktól a vízerőművekig*; Új Mandátum Könyvkiadó, Budapest

Kohlheb N. – Fuchsz M. – Kazai Zs. – Szabó B. (2008): *A biomassza energetikai alkalmazásának jövője, aktuális problémái*; Klímapolitika, KvVM Budapest

Kohlheb N. – Krausmann, F. (2009): *Land use change, biomass production and HANPP: The case of Hungary 1961–2005*; Ecological Economics 69, 292–300.

Kohlheb N. – Krausmann, F. – Weisz, H. (2006): *Magyarország társadalmi metabolizmusa*; Kovász 10 (1–4), 21–41. <http://kovasz.uniconvinus.hu/kov17/metabolizmus.html> (letöltve: 2014.02.10.)

Kohlheb N. – Podmaniczky L. – Skutai J. (2010): *Környezetbarát mezőgazdaság*; Lélegzet Alapítvány, Budapest

Kohlheb N. – Porteleki A. – Szabó B. (2007): *Magyarország energetikai biomassza potenciálja a 2007-ig bejelentett fejlesztések tükrében*; Bioenergia 2 (4), 6–11.

Kohlheb N. (2015): *A megújuló energiaforrások magyarországi támogatási eszközeinek értékelése*; Kovász 19 (1–4), 51–88.

KSH (2011): 5.7.4. *Megújuló energiaforrásokból termelt energia, energiaforrások szerint (1995–)*; (letöltve: 2014. 01. 28.) http://www.ksh.hu/docs/hun/xstadat/xstadat_eves/i_ui012b.html

KSH (2016a): 3.8.1. *Primer energiamérleg (1990–)*; http://www.ksh.hu/docs/hun/xstadat/xstadat_eves/i_qe001.html letöltve: 2016.02.25.

KSH (2016b): 5.7.4. *Alapenergiahordozónak minősülő megújuló energiaforrásokból és hulladékból termelt energia, energiaforrások szerint (2000–)*; http://www.ksh.hu/docs/hun/xstadat/xstadat_eves/i_ui012b.html (letöltve: 2016.02.25.)

KSH (2016c): 3.8.2. Villamosenergia-mérleg (1990–) https://www.ksh.hu/docs/hun/xstadat/xstadat_eves/i_qe002.html letöltve 2016.02.25.

Kunze, K. – Becker, S. (2014): *Energy Democracy in Europe. A survey and outlook*; Rosa Luxemburg Stiftung, Brüsszel

KvVM (2009): *Szabó Imre zöld vízerőművet adott át a Rábán*; <http://www.kvvm.hu/index.php?pid=1&sid=1&hid=2376> letöltve 2015.03.03.

Lovas R. (szerk.) (2010): *Megújuló energiák hasznosítása; Köztisztviselői stratégiai programok*, MTA, Budapest. http://www.ujszentmargita.hu/files/megujulo_energiak_hasznositasa_mta_0.pdf (letöltve: 2016. 02. 21.)

Lukács Gergely S. (2009): *Megújuló energia és vidékfejlesztés*; Szaktudás Kiadó Ház, Budapest

MacKay, D. (2009): *Sustainable Energy — without the hot air*, UIT, Cambridge

Magyarország Megújuló Energia Hasznosítási Cselekvési Terve (2010): Nemzeti Fejlesztési Minisztérium, Budapest. (letöltve: 2014. 09. 21.) http://geotermia.lapunk.hu/tarhely/geotermia/dokumentumok/national_renewable_energy_action_plan_hungary_hu.pdf

Magyar Tudományos Akadémia (2006): *Magyarország Megújuló Energetikai Potenciálja*; Magyar Tudományos Akadémia Energia Bizottság Megújuló Energia Albizottság, Budapest

Marosvölgyi B. (2004): *Magyarország biomassza-energetikai potenciálja*; *Energiagazdálkodás* 45 (6), 16–19.

MEKH–MAVIR (2013): *A magyar villamosenergia-rendszer (VER) 2012. évi statisztikai adatai*; http://www.mekh.hu/gcpdocs/86/MAVIR_MEKH_VER_statisztika_2012.pdf (letöltve: 2013. 09. 21.)

Móczár G. – Farkas I. (1999): *Napenergia hasznosítás*; *Ökotáj* 22.: <http://www.okotaj.hu/szamok/22/mas4.html> (Letöltés ideje: 2008.06.09.)

Munkácsy B. (2004): *A szélenergia és hasznosításának környezeti vonatkozásai magyarországi példákon*; Doktori értekezés; ELTE TTK

- Munkácsy B. (2010): *A területi tervezés szorításában – A szélenergia-hasznosítás hazai lehetőségei*; Területfejlesztés és Innováció 4 (2), 20–27.
- Munkácsy B. (2014): A megújuló energiára alapozott energiatervezésről. In: Munkácsy, B. (szerk.) (2014); 9–14.
- Munkácsy, B. (szerk.) (2014): *A fenntartható energiagazdálkodás felé vezető út, Erre van előre! Vision 2040 Hungary 2.0*; ELTE TTK, Környezet- és Tájföldrajzi Tanszék – Környezeti Nevelési Hálózat Országos Egyesület. h. n.
- Munkácsy B. – Kovács G. – Tóth J. (2007): *A szélenergia-hasznosítás lehetőségei és távlatai Komárom-Esztergom megyében*; Energiagazdálkodás 48 (1), 18–21.
- Munkácsy B. – Kneip Zs. (2011): *A megújuló energiaforrások potenciáljai Magyarországon – szélenergia*; In: *Erre van előre! Egy fenntartható energiarendszer keretei Magyarországon*; Vision 2040 Hungary, 109–116.
- Munkácsy B. – Krassován K. (2011): *A környezeti hő felhasználásának lehetőségei 2050-ig*; In: Munkácsy, B. (szerk.): *Erre van előre! Egy fenntartható energiarendszer keretei Magyarországon*; 103–107.
- Munkácsy B. – Sáfíán F. – Harmat Á. – Németh S. (2014): *Hazai megújuló potenciálok és hasznosításuk jövőképünkben*; In: Munkácsy, B. (szerk.) (2014), 143–152.
- Pálfy M. (2005): *A napenergia fotovillamos hasznosításának potenciálja Magyarországon*; Elektrotechnika, 11. szám
- Pálfy M. (2008): *A napenergia fotovillamos hasznosítása*; In: *Épületgépészet a gyakorlatban*; <http://www.solart-system.hu/12.7.0609.pdf> (Letöltés ideje: 2016.02.21.)
- Popp J. – Potori N. (szerk.) (2011): *A biomassza termelése és energetikai felhasználása Magyarországon*; Agrárgazdasági Kutató Intézet (AKI), Budapest
- Puy, N. – Rieradevall, J. – Bartrolí, J. (2010): *Environmental assessment of post-consumer wood and forest residues gasification: The case study of Barcelona metropolitan area*; Biomass and bioenergy 34 (10), 1457–1465.
- REN (2014): *Renewables 2014. Global Status Report*; Renewable Energy Policy Network for the 21th Century

- Rezessy G. – Szanyi J. – Hámor T. (2005): *Jelentés a geotermikus energiavagyon állami nyilvántartásának kialakításáról*; Kézirat, MGSZ, Budapest
- Sáfián F. (2011): *Vízenergia*; In: Munkácsy Béla (szerk.) (2011): *Erre van előre! Egy fenntartható energiarendszer keretei Magyarországon*; Környezeti Nevelési Hálózat Országos Egyesület, Szigetszentmiklós, 111–114.
- Scheer, H. (2004): *Napstratégia. Nincs más kiút*; Madách–Posonium Kiadó, Budapest
- Smeets, E. – Faaij, A. – Lewandowski, I. (2004): *A quick scan of global bioenergy potentials to 2050. Part A: review of existing data and studies and the development of a bottom–up methodology*; Utrecht: Department for Science, Technology and Society, Copernicus Institute, University Utrecht
- Streicher, W. (2006): *Solarthermische Wärmenutzung*; In: Kaltschmitt, M. – Streicher, W. – Wiese, A. (szerk.): *Erneubare Energien – Systemtechnik, Wirtschaftlichkeit, Umweltaspekte*; Springer Verlag Berlin
- Šúri M. et al. (2007): *Potential of solar electricity generation in the European Union member states and candidate countries*; Solar Energy 81, 1295–1305.
- Szajkó G. – Mezősi A. – Pató Zs. – Scultéry O. – Sugár A. – Tóth A. I. (2009): *Erdészeti és ültetvény eredetű fás szárú energetikai biomassza Magyarországon*; Műhelytanulmány, Regionális Energia-kutató Központ, Corvinus Egyetem, Budapest
- Szeredi I. – Alföldi L. – Csom Gy. – Mészáros Cs. (2010): *A víz-energia-hasznosítás szerepe, helyzete, hatásai*; Magyar Tudomány, 8, 959–978. <http://www.matud.iif.hu/2010/08/07.htm> (letöltve 2015.03.03)
- Tóth L. (2012): *Alternatív energiaellátási rendszerek az agrárgazdaságban*; Szaktudás Kiadó Ház, Budapest
- Tóth T. P. (2012): *Győr-Moson-Sopron megye szélenergia-termelés potenciáljának vizsgálata térinformatikai módszerekkel*; Szakdolgozat, ELTE TTK
- Vajda Gy. (1999): *Energiaforrások*; Magyar Tudomány 6, 645–675.
- van Dam, J. – Faaij, A. P. C. – Lewandowski, I. – Fischer, G. (2007): *Biomass production potentials in Central and Eastern Europe under different scenarios*; Biomass and Bioenergy 31, 345–366.

van Leeuwen, J. W. S. (2006): *Energy from Uranium*; Oxford Research Group. 33 p. http://www.stormsmith.nl/Media/downloads/storm_van_leeuwen200607energy_from_uranium.pdf (letöltve 2016.02.21.)

WEC (2004): *Comparison of energy systems using life cycle assessment – a special report of the World Energy Council*; 67 p. http://www.worldenergy.org/wp-content/uploads/2012/10/PUB_Comparison_of_Energy_Systems_using_lifecycle_2004_WEC.pdf (letöltve 2015.02.18.)

Weizsäcker, E. U., Lovins, A. B.; Lovins, L. H. (1995): Faktor Vier. Doppelter Wohlstand – halbierter Naturverbrauch. Der neue Bericht an den Club of Rome. Droemer Knauer, München

Zah, R. – Böni, H. – Gauch, M. – Hirsch R. – Lehmann, M. – Wäger P. (2007): Ökobilanz von Energieprodukten: Ökologische Bewertung von Biotreibstoffen, *Schlussbericht*, Empa Abteilung Technologie und Gesellschaft, St. Gallen