

# BIOMASSZA-ALAPÚ ENERGIATERMELÉS ÉS FENNTARTHATÓ ENERGIAGAZDÁLKODÁS

Dinya László

a mezőgazdasági tudomány kandidátusa, egyetemi tanár,  
Károly Róbert Főiskola, Gyöngyös  
ldinya@karolyrobert.hu

## Fenntarthatósági kihívások

Amikor a médiában latolgatják, hogy hány millió hektár területen lehetne a hazai üzemanyag-fogyasztás környezetbaráttá tételéhez bioetanol/biodízel céljára szolgáló növényeket termesztetni, akkor az a sejtésünk támadhat, hogy valamit túlzottan leegyszerűsítve tálnak. A biomassza-alapú energiatermelés kétségkívül az emberiség legrégebb próbálkozása energiaigényének kielégítésére, de ma már jóval többet tudunk világunk bonyolult összefüggéseiről, hogy eltekinthessünk azok mérlegelésétől. Ezért a biomassza vagy akár a többi megújulónak nevezett és potenciálisan környezetbarát energiaforrás perspektívájának megítélését is célszerű a tágabb összefüggések felől megközelíteni. E tágabb összefüggésrendszert egyértelműen a fenntarthatóság kínálja számunkra, mivel az energiatermelést éppen az eddigi megoldások jövőbeni fenntarthatatlansága helyezte a fókuszba. Az emberiség globális kihívásai közül talán legismertebb a környezetszennyezés, és ezzel szoros összefüggésben a klímaváltozás. Gondolatébresztő a Nobel-díjas Richard Smalley listája, amely az előttünk álló tíz legfontosabb

globális kihívást a szerint rangsorolta, hogy melyik megoldása nélkül nem boldogulhatunk az utána következőkkel (Dinya, 2008). Ez a rangsor a következő:

- Energiaellátás
- Vízellátás
- Élelmiszer-ellátás
- A természeti környezet megvédése
- A szegénység megszüntetése
- A terrorizmus és háború kiküszöbölése
- A betegségek elleni küzdelem
- Az oktatás korszerűsítése
- A demokrácia biztosítása
- A túlnépesedés megállítása.

A kihívások *csúcán az energiaellátás* található, miután ennek megoldása nélkül a víz-ellátó rendszerek működésképtelenek, energia és víz nélkül pedig nincs élelmiszer-termelés, és az élhető környezet mindhárom előző kihívás megválaszolását feltételezi. Szegénységről pedig akkor beszélünk, ha tömegek számára elérhetetlen az energia, a tiszta víz, az élelmiszer és az egészséges környezet. A szegénység ugyanakkor a terror (és a háborúk), illetve a betegségek melegágya. Az okfejtés szerint mindezek után oldhatók meg az oktatás problémái, és – számos tapasztalat is iga-

zolja – tudatlan tömegek kezében a demokrácia működésképtelen. Végezetül ugyancsak köztudott, hogy a demográfiai robbanás nem a kvalifikált rétegek jellemzője. Természetesen vitatható mind a rangsorolás, mind a kapcsolódó érvelés – az összefüggések nyilvánvalóan jóval komplexebbek, kölcsönhatások, visszacsatolások szép számmal működnek ebben az egymásra épülésben. De nem vitatható, hogy ez a rendszerezés lényegében a *fenntartható fejlődés* mindhárom klasszikus pillérét (a gazdasági, társadalmi és ökológiai szempontokat) átfogja, és lényegében a kihívások *egymással harmonizáló megválaszolására* hívja fel a figyelmet.

Mindezt azért bocsátottuk előre, mert jól illeszkedik a felfogásunkhoz, amelyben a *biomassza-alapú energiatermelés hazai perspektíváját* kísérjük meg elemezni. Egy többéves, átfogó kutatás keretében („Asbóth Oszkár” pályázat, BIOENKRF-projekt) sok egyéb feladat megoldása mellett feldolgoztuk a hazai bioenergetikai projektek médiatörténetét. A sajnálatosan nagyszámú kudarc-sztori közös jellemzője volt:

- *Szelektív megközelítés:* a legfontosabb technikai, pénzügyi, szervezési elemeken túl nem fordítanak kellő figyelmet menet közben megoldhatónak vélt feladatokra.
- *Komplex tudás hiánya:* a tőke vagy más kulcsfontosságú erőforrások birtoklása még nem pótolja a tapasztalatot és a komplex szaktudást.
- *Széthúzó érdekek:* a sokszereplős projektekben a nehézségek fellépésekor gyorsan felbomlik a kezdeti érdekközösség, főleg ha azt korrekt, hosszú távú megállapodásokkal nem bástyázzák körbe.
- *Tőke (forrás) szűkössége:* a kényszerű takarékosság miatt a komplex (azaz drágább, hosszabb megtérülésű, de időtállóbb, ha

úgy tetszik fenntarthatóbb) megoldások háttérbe szorulnak.

Sokan abból a vélekedésből indulnak ki, hogy Magyarország „biomassza-nagyhatalom”, de reálisan szemlélve a természeti erőforrásokkal való ellátottság tekintetében a nagy országokkal összevetve igen korlátozottak a lehetőségeink. Mindez felértékeli a meglévő, *relatív nagy potenciált* (termőtalaj, élővizek, erdők stb.), de éppen méretbeli korlátaink miatt a *fenntarthatósági szempontok érvényesítése* elengedhetetlen. Hazánkban már létezik a Nemzeti Fenntartható Fejlődési Stratégia, a Nemzeti Éghajlatváltozási Stratégia, a Nemzeti Fenntartható Fejlődés Tanácsa (utóbbi kettőt az Országgyűlés egyhangúlag támogatta!).

A *biomassza-alapú energiatermelés* (azaz a bioenergetika) lehetőségeinek és korlátainak vitájában még döntéshozói szinteken is gyakran elkövetik azt a hibát, hogy a kérdést a fenntarthatóságtól függetlenül tárgyalják. Ennek következtében országos, ágazati vagy projektszinten is találkozhatunk félrevezető kalkulációkkal, amelyek téves üzleti vagy akár gazdaságpolitikai döntések forrásává válhatnak. Kiindulópontként tehát javasoljuk, hogy a bioenergetikai ágazat perspektívájának megítélésénél, stratégiai fejlesztésénél a *fenntarthatóság legyen a vezérelv* a következők szerint:

Ne energiatermelésről, hanem *energiagazdálkodásról*; ne leszűkítve gazdasági-technológiai, hanem *ab ovo fenntarthatósági* kérdéstről beszéljünk. Ebben az értelemben a fenntartható fejlődésbe illesztve tárgyaljuk a kérdést, azaz *fenntartható energiagazdálkodásként*.

## Fenntartható energiagazdálkodás

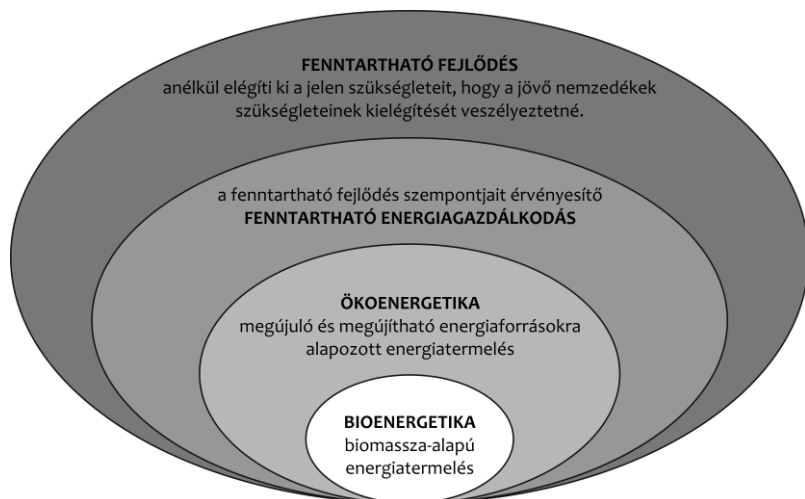
A fentiekből kiindulva célszerű a laikus köztudatban (de még a projektekről döntést hozók fejében is) gyakran összemósódó fogalmakat elkülöníteni, és ha lehet, egymáshoz való

viszonyukat is tisztázni. A következő – egyre gyakrabban használt – fogalmak tartoznak ide, amelyek egyfajta hierarchiában foglalhatók össze (1. ábra) (Dinya, 2007):

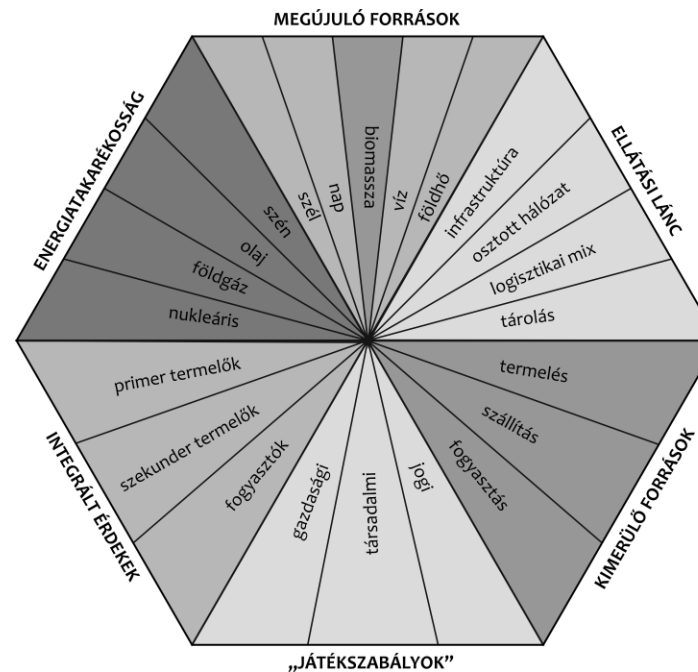
- **Fenntartható fejlődés:** olyan fejlődés, amely kielégíti a jelen szükségleteit anélkül, hogy veszélyeztetné a jövő nemzedékek szükségleteinek kielégítését – az ismert, Brundtland-féle definíció szerint.
- **Fenntartható energiagazdálkodás:** az energiatermelés, -tárolás, -szállítás, -felhasználás komplex folyamatának (vertikumának) társadalmi, gazdasági és ökológiai szempontokat integráló megvalósítása; a klaszikus energiagazdálkodás fenntartható fejlődésbe illeszkedő átalakítása.
- **Ökoenergetika:** a megújuló erőforrásokra alapuló energiavertikum tevékenységeinek rendszere – csak a megújuló és a megújítható energiaforrások tartoznak ennek a körébe.
- **Bioenergetika:** ökoenergetikai értelmezésben: a biomasszán alapuló energiavertikum tevékenységeinek rendszere – a

megújuló energiaforrások speciális csoportjára, a megújíthatókra vonatkozik. Ennek megfelelően a fenntartható energiagazdálkodás egyik fontos területe az ökoenergetika, a megújuló energiaforrások kihasználása, ám a fenntartható energiagazdálkodás *részeként kell kezelniünk* a klasszikus (nem megújuló) energiaforrásokat is, hisz teljes mértékű kiváltásuk belátható időn belül lehetetlen. Ezzel szoros összefüggésben természetesen elkerülhetetlen – bár kétségkívül nagyon tökéletes – a nem megújuló energiaforrások ún. *tiszta* (tehát környezetbarát) és *jelenleginél jóval hatékonyabb technológiákra* átállítása. Mindezek után már felvázolhatjuk a *fenntartható energiagazdálkodás komplex rendszerét* (2. ábra), amelyben a *különböző – megújuló, illetve kimeríthető – energiaforrások mellett* további számos fontos összetevő szerepel:

- **Ellátási lánc:** az energiahordozók kitermelésének, feldolgozásának és az energiatermelés melléktermékeinek logisztikai kezelésén, valamint az energia sokkal hatékonyabb tárolásának megoldásán túl kezelni



1. ábra • Fenntarthatóság – biomassza



2. ábra • A fenntartható energiagazdálkodás rendszere

kell az időszakos (nap-, szélenergia) és a szezonális (biomassza-termelés) ingadozásokat, és az energiaszükséglet ingadozásainak kihívásait is. Ráadásul a reményeink szerint kialakuló ún. osztott (decentralizált) energiahálózat alapvetően eltér a mai globális, koncentrált hálózatoktól.

- **Energiatartósság:** legtöbb energia az, amit nem kell megtermelni – vagyis amit meg tudunk takarítani (az ún. negajoule). Kalkuláció szerint az energiatakarékosági potenciál a fejlett országokban 20–25%, a kevésbé fejlettekben – így hazánkban – 30–35% (Greenpeace International, 2007).
- **Játékszabályok:** ma még a *formális* jogszabályi előírások, illetve piaci szabályozók – támogatások, korlátozások, kötelezettségek és elvonások – rendszere részint hézagosság, részint ellentmondásos. Nemzetközi, nemzeti és helyi szinten is sok ösz-

szehangolt lépésre van szükség, míg a befolyásos, ellenérdekű lobbykkal szemben egy konzisztens, fenntartható energiagazdálkodást támogató játékszabályrendszer jön létre. Ugyanehhez szervesen hozzátartozik az *informális* játékszabályok rendszere, azaz a társadalmi értékrend (energiaszükségleti szokások), amelynek megváltoztatása nélkül vajmi kevés az esély fenntartható energiagazdálkodásra.

- **Integrált értéklánc:** a fenntarthatóság csak akkor valósulhat meg, ha az energetikai ágazat (és általában a komplett gazdaság) szereplőinek összetett értékalkotó tevékenységében (az ún. értékláncban) integráltan kapcsolódnak össze a primer és a szekunder energiatermelés, valamint az energiaszükséglet szereplői.

Talán e rövid leírásból is érzékelhető: a fenntartható energiagazdálkodás rendszere komp-

lex, és csak *hosszú távon és globálisan összehangolt erőfeszítéssel* valósítható meg.

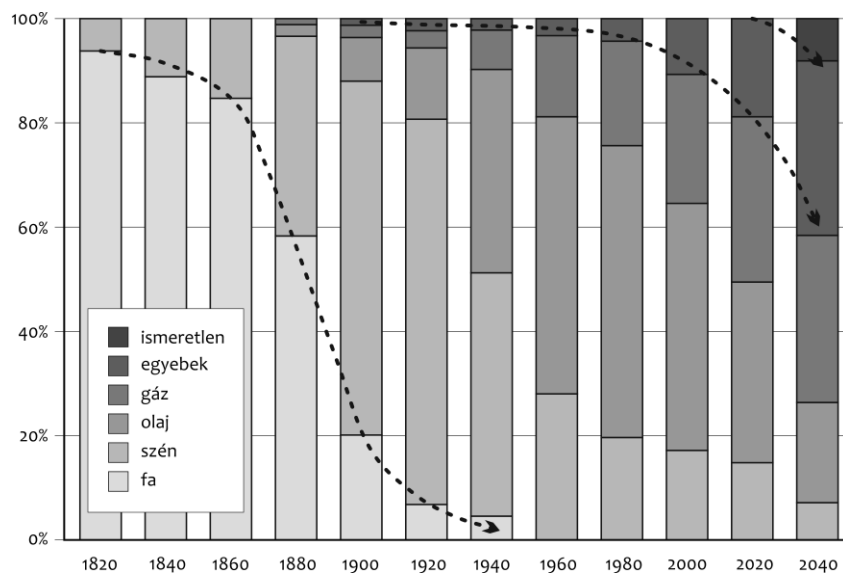
Hosszú távú elemzések alapján többen úgy látják, hogy az energiahordozók váltása „hullámokban” következik be, és most a fosszilis hullám lecsengésének periódusában vagyunk, amelyet (értelemszerűen néhány évtizedes átfedéssel) követhet a jelenleg ismert alternatív energiahordozók – beleértve a biomasszát is – korszaka, majd ezután jöhet(ne) a ma még ismeretlennek nevezett (fűziós?) energia kora (3. ábra).

Ebben az átmeneti korszakban egybehangzó számítások olyan *globális energiamixet* prognosztizálnak, amelyben a(z új) biomassza részaránya hosszú távon kb. 15%. Természetesen ettől alaposan eltérő, sokféle nemzeti, regionális és lokális energiamix is megjelenhet (beleértve a biomassza változatos súlyát is). Ezért a fenntartható energiagazdálkodás és ezen belül a *biomassza-alapú energiaterme-*

*lés hazai megvalósítása* adottságaink, prioritásaink mérlegelésén alapuló nemzetgazdasági szintű döntéseket – ha úgy tetszik, *fenntartható energiagazdálkodási stratégiát* és nem leszűkített megújulóenergia- vagy akár csak energiastratégiát – igényel.

#### Biomassza-alapú energiatermelés

Ezt követően célszerű tisztázni a *biomassza lehetséges helyét* a fenntartható energiagazdálkodásban. Mint ismeretes, a primer energiaforrásokat két nagy csoportba oszthatjuk: meg nem újuló energiaforrás a szén, a kőolaj, a földgáz és a hasadóanyag, a megújuló energiaforrások csoportjába sorolható a nap-, a víz- és a szélenergia, illetőleg a biomasszából nyerhető energia. Az energiaforrások csoportosíthatók kimeríthetőségük szerint is: a nem megújuló energiaforrások kimeríthetők, a megújuló energiaforrások kimeríthetők, a megújulóknál a nap és a szél nem kimeríthető, míg a biomassza ugyancsak kimeríthető.



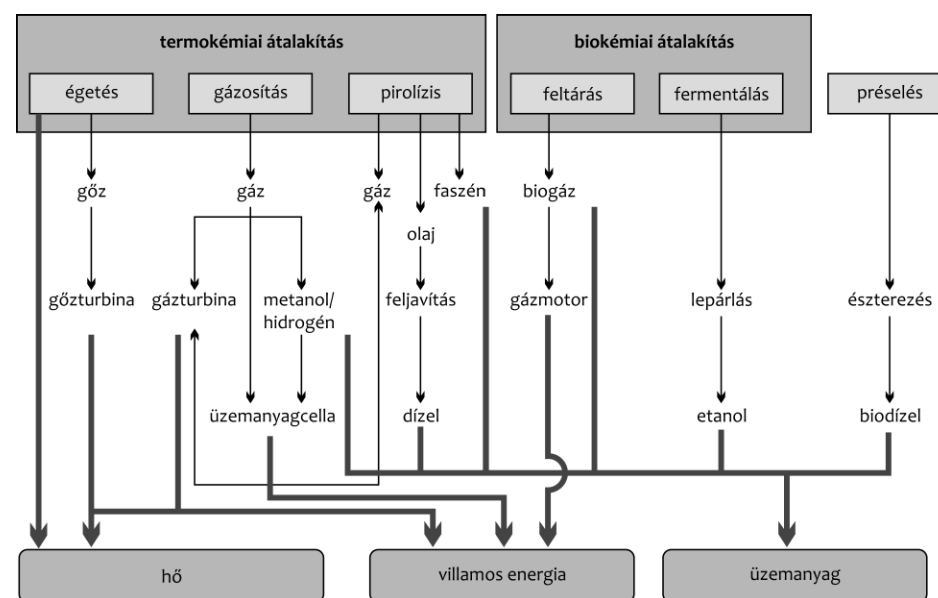
3. ábra • Energetikai hullámok az Egyesült Államokban a XIX. századtól, illetve a várható tendencia (US Department of Energy alapján)

A primer energiaforrásokból szekunder energiahordozókat állíthatunk elő, üzemanyagokat vagy villamos energiát nyerhetünk különböző energiaátalakítási eljárásokkal. Ezek az eljárások az átalakítás hatásfokában és környezeti hatásaiban nagymértékben különböznek egymástól (Gyulai, 2008).

A biomassza tehát *megújuló, de kimeríthető* (ám megújítható) *primer energiaforrás*. A biomassza egy biocönózisban vagy biomban, a szárazföldön és vízben található élő és nemrég elhalt szervezetek (növények, állatok, mikroorganizmusok) tömege, biotechnológiai iparok termékei és a transzformálók (ember, állat, feldolgozóipar stb.) biológiai eredetű termékei, melléktermékei, hulladékai. Az ember testtömegét nem szokás a biomassza fogalmába vonni. A biomassza elsődleges forrása a növények asszimilációs tevékenysége. Keletkezésének folyamata a *produkcíobiológia* fő témája. A növényi biomassza a

fitomassza, az állati biomassza a zoomassza. A termelési-felhasználási láncban elfoglalt helye alapján a biomassza lehet *elsődleges* (természetes vegetáció, szántóföldi növények, erdő, rét, legelő, kertészeti és vízben élő növények), *másodlagos* (az állatvilág, a gazdasági haszonállatok összessége, továbbá az állattenyésztés fő- és melléktermékei, hulladékai) és *harmadlagos* (biológiai eredetű anyagokat felhasználó iparok termékei, melléktermékei, hulladékai, emberi települések szerves eredetű szerves hulladékai) (Láng, 2002).

A mezőgazdasági eredetű biomassza energiaforrások osztályozása: szilárd biomassza, folyékony bioüzemanyagok, biogáz. A biomassza hasznosításának fő iránya az élelmiszer-termelés, a takarmányozás, az energetikai hasznosítás és az agráripari termékek alapanyaggyártása. Az energetikai hasznosítási módok közül jelentős a termokémiai, biokémiai és a mechanikai átalakítás (4. ábra)



4. ábra • A biomassza energetikai hasznosítása

(Dinya, 2008). A világ negyedik legelterjedtebb energiaforrása jelenleg a szén, a kőolaj és a földgáz után a biomassza. A klasszikus és új biomassza-energia együtt jelenleg a felhasznált energia 14%-át fedezi világátlagban.

A biomasszára alapuló energetikai alapanyag-termesztés területei:

- Fás szárú, különböző vágásfordulójú ültetvények telepítése (akác, éger, fűz, nemes nyár stb.);
- Lágyszárú növények szántóföldi termesztése (energiafű, nádfélék stb.);
- Biodízel előállításához olajos magvú növények termesztése (napraforgó, repce stb.);
- Etanol előállítására alkalmas növények termesztése (árpa, búza, kukorica stb.).

Az energiatermelésre létrehozott kultúrák (energiaültetvények) lehetnek fás és lágyszárú energianövények kultúrái (Gyulai, 2008).

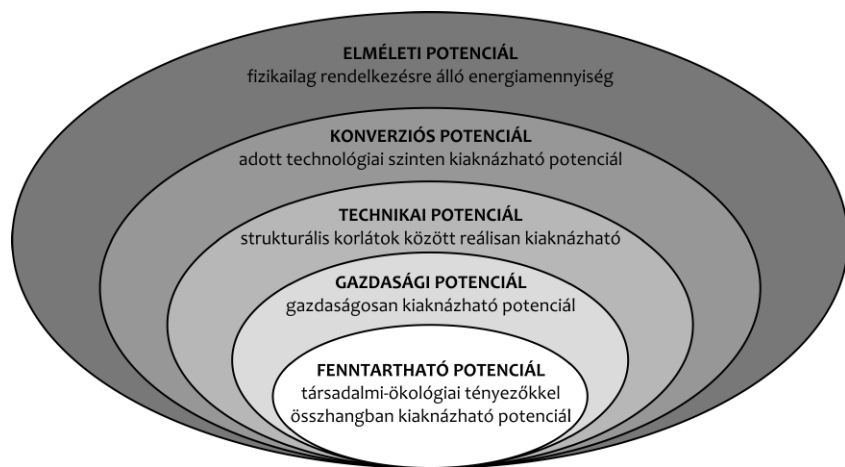
Energetikai célra használható *biomassza-potenciálról* akkor lehet szó (de ez igaz valamennyi megújuló energiaforrásra is!), ha tisztázunk, hogy a többféle lehetőség közül

*melyik potenciálra* gondolunk. Ezek egymáshoz való viszonyát mutatja az 5. ábra (Dinya, 2008). Köztük nagyságrendi különbségek vannak: például míg a globális elméleti bioenergetikai potenciál kb. hússzor nagyobb, mint a világ jelenlegi energiaigénye, a konverziós potenciál már csak kb. 40%-át teszi ki, és még ennél is jóval kisebb a *fenntartható potenciál*. Magyarország *fenntartható bioenergetikai potenciáljára* az alábbi becslések készültek (Dinya, 2009). (1. táblázat)

Az adatokból legalább két következtetés levonható:

Vannak még tisztázandó (egyeztetendő) számítási *metodikai kérdések*, különben nem szóródhatna ilyen széles sávban az eredmény.

Ha – az átlag közelítéseként – elfogadjuk a két szélsőérték közötti *FVM-becslést* (260 PJ/év), és tudjuk, hogy Magyarország éves energiafogyasztása belátható időn belül (2013 táján) az 1040 PJ/év értékre beáll, akkor nem tévedünk nagyot, ha a *biomassza maximális fenntartható potenciálját a hosszabb távú hazai*



5. ábra • Energetikai potenciálok

Számítást végzők	Alsó érték (PJ/év)	Felső érték (PJ/év)
MTA Megújuló Energia Albizottsága (2005–2006)	203	328
Energia Klub (2006)	58	223
Európai Környezetvédelmi Ügynökség (EEA, 2006)	145,5	
FVM (2007)	260	
Szélsőértékek:	58	328

1. táblázat

*energiamixben kb. 20%-nak tekintjük*. Relatív kedvező adottságaink alapján ez még mindig nagyobb, mint a globális energiamezban prognosztizált 15%-os részarány, de arra is utal, hogy a hazai energiaigény biomassza-alapú energiával történő lefedése (nem is beszélve annak exportjáról) megalapozatlan illúziókeltés.

#### Megválaszolendő kérdések

Hosszabb távról lévén szó, fel kell hívnunk a figyelmet arra a többnyire mellőzött körülményre, hogy valamennyi eddigi számítás a jelenlegi ár/költség viszonyokra és technológiai színvonalra alapul. Márpedig a technológiai fejlődés minden jel szerint exponenciális, ami egyesek szerint azt is jelenti, hogy az előttünk álló évszázadban az elmúlt húsz ezer évnek (!) megfelelő mértékű technikai fejlődéssel kell számolnunk (Kurzweil, 2005). A biotechnológia, a nanotechnológia és az információs technológia fejlődési konvergenciájának eredményei éppen az első számú globális kihívásnak tekintett energiagazdálkodás terén is bizonyára megjelennek. Ezért a bioenergetikai beruházások (ill. azok támogatásának) mérlegelésekor is elsőrendű szempontként kell kezelni a jövőbe mutató (rugalmasan korszerűsíthető) technológiák kiválasztását, még ha azok drágábbak is. Ellenkező esetben könnyen versenyképtelen technológiák rezervátumává válhat a bioenergetikai

ágazat, amire utaló jeleket tapasztalni az utóbbi időben. Emellett sürgősen folytatni kell a kutatásokat a legfontosabb (jórészt még nyitott) kérdések megválaszolására. Néhány ilyen kérdést a *fenntartható energiagazdálkodás* imént felvázolt rendszerének keretében az alábbiakban érintünk.

#### Megújuló energiaforrások – mi korlátozza a biomassza-alapú energia arányának növekedését a lokális energiamezokban?

Sokan – abból kiindulva, hogy az ún. „új biomassza” energetikai célú kiaknázása még csak néhány %-os súlyú az energiamezban – úgy vélik, az ágazat gyors növekedés előtt áll. Kemény korlátok is vannak azonban, amelyekkel e téren szembesülnünk kell:

- Logisztikai infrastruktúra hiánya (begyűjtés – szállítás – tárolás – kezelés – előkészítés – disztribúció);
- Ütköző érdekek (alternatív hasznosítás, talajvédelmi visszapótlás, ellenérdekű lobbyk);
- Ismeretek hiánya (termelési, energetikai, piaci, térinformatikai);
- Technológiai kihívások (égetés, gázosítás, üzemanyaggyártás);
- Gazdasági feltételek (tőkeigény, hálózatfejlesztés, költség/ár arányok).

Ezek körültekintő megválaszolása nélkül – mint arra saját tapasztalataink is rámutattak – sikeres bioenergetikai projekt elképzelhetet-

len. A biomassza-termelés mennyiségi növekedésének korlátaival kapcsolatos kérdés, hogy mennyiben függ össze az élelmiszerárak növekedése a bioenergetikai ágazat növekedésével. A bioüzemanyagok növekvő termelésének lehetséges következményei megosztják a szakmai és ennek következtében a politikai és a laikus közvéleményt is. Sokan – így egy nemrég nyilvánosságra került világbanki jelentés is – egyértelműen ennek tulajdonítják a mezőgazdasági termékek, ebből kifolyólag pedig az élelmiszerárak megugrását, ami a szegény tömegek globális éhséglázadásainak rémképét is felidéz. Mások ezt a hatást elenyészőnek ítélik a nagy népességű fejlődő országok élelmiszerigényének ugrásszerű növekedéséből származó árfelhajtó hatáshoz képest. Egyesek viszont úgy érvelnek – nem alaptalanul –, hogy a bioüzemanyag előállításának korszerű technológiai nagyságrenddel hatékonyabbak, mint a ma elterjedt technológiák. Továbbá különbséget kell tenni a melléktermékek, hulladékok, illetve a főtermékként bioüzemanyag céljára termesztett növények között, mert az előbbiek mindenképpen keletkeznek, így feldolgozásuk kifejezetten kívánatos. ENSZ-szakértők szerint az élelmiszerárak gyors növekedését előidéző tényezők célszerű rangsora az alábbi:

1. alacsony termelékenység a fejlődő országokban (25% veszteség a termőhelyen, 15% veszteség a feldolgozáskor!!!);
2. éghajlati sokk a fejlett országokban;
3. bioüzemanyag-kereslet megugrása;
4. készletek alacsony szintje;
5. élelmiszer-exportőrök kereskedelmi korlátozásai.

Véleményünk szerint ehhez néhány további tényező is társítható:

6. olajár / energiaárak megugrása;
7. spekuláció;

8. élelmiszer-pazarlás a fejlett országokban (pl. USA: az élelmiszer 30%-a a szemétként végzi).

*Ellátási lánc – hogyan biztosítható biomasszával az egyenletes ellátás?*

A fosszilis energiahordozókon alapuló energiatermelő üzemek természetesnek tartják, hogy az alapanyag folyamatosan rendelkezésre áll, mint ahogy – bizonyos hullámzással – folytonos az energiaigény is. Ugyanakkor az egyenletes alapanyag-ellátással szemben természeti korlátokkal kell számolnunk a megújulóknál, ezen belül a biomasszánál is:

- hozamingadozás (évszaktól függő mennyiségi és minőségi eltérések);
- időszakosság (elsősorban a szél- és a napenergia esetében, de a biomasszánál is);
- szezonális (az összes megújulóknál);
- kis energiasűrűség (a fosszilis energiaforrásokhoz képest).

Kemény logisztikai feladat a szezonális betakarítás (begyűjtés), az inhomogén (gyakran jelentős) anyagtömeg szállítása, kezelése, tárolása, előkészítése. Továbbá: mivel a biomassza energiasűrűsége jóval kisebb a klasszikus energiaforrásokéhoz képest, a logisztikai költségek (és energiaráfordítások) behatárolják az optimális feldolgozóüzem méretét is. Magyarán: a jelenlegi nagy teljesítményű fosszilis erőművek átállítása biomassza-tüzelésre, vagy nagyméretű biomassza-erőmű létesítése gazdaságilag irracionális. Például a Mátrai Erőmű esetében a széntüzelés teljes kiváltásához (durva számítás szerint) mintegy 120 km átmérőjű körnek megfelelő nagyságú területen kellene telepíteni energiaerdőt az erőmű körül. Ugyancsak irracionális alacsony hatékonyságú széntüzelésű erőművekben a biomassza szénnel együtt történő égetése (idősebb erőműveink átlagos hatásfoka alig 30%-os).

*Kimerülő energiaforrások – energia- és emissziós mérlegek, életciklus-elemzés*

Elvileg a biomasszából nyert energia megújuló energiaforrás, amely fosszilis energia kiváltására és az üvegházhatású gázok kibocsátásának csökkentésére alkalmas. Ugyanakkor természetesen ehhez a folyamathoz is szükséges fosszilis energia, van káros emissziója, és költségek is felmerülnek. Ezek mindegyikével számolni kell a megújuló biomassza felhasználásánál (is), méghozzá lehetőség szerint a teljes életciklusra: a termékgyártás „bölcsőtől koporsóig” terjedő szemléletében. A 2. táblázat példa jelleggel bemutatja a leginkább vitatott, benzinhelyettesítő bioetanol gyártásának néhány jellemzőjét (Burne, 2007).

Az energiamérleg esetében kétféle megközelítés is létezik: az energiahatékonyság az előállított energia mennyiségét viszonyítja az adott technológia összes energiaráfordításához, míg a fosszilis energiahányad az előállított energiát a létrehozásához felhasznált fosszilis energiamennyiségre vetíti. Mindkettő az adott folyamat fenntarthatóságát jellemzi. A kérdés mindegyik esetben a ráfordítás/kibocsátás egyenlege (mérlege), amelynek számításakor nem mindegy, hogy hol húzzuk meg

térben és időben a vizsgált rendszer határait. A CO<sub>2</sub>-emisszió esetében például különbséget tesznek a rövid, illetve hosszú távú CO<sub>2</sub>-ciklus között. Akkor klímamentes egy technológia, ha a CO<sub>2</sub>-kibocsátás/beépítés egyenlege rövid távon zérus. De mi van, ha a kiváltandó fosszilis energiához képest az energiamérleg kedvező, az emissziós mérleg semleges, a költségmérleg negatív, és még számításba vesszük azt is, hogy az importfüggőségünk csökkenthető, továbbá vidéki munkahelyeket és mezőgazdasági jövedelmeket is teremtünk? Fontos figyelembe venni, hogy a biomassza-alapú energiatermelés energia-, emissziós vagy költségmérlegéről általában beszélni értelmetlen, hiszen ezek a mérlegek technológiánként nagymértékben eltérhetnek. Ennek következtében az irodalmi adatok még egyazon technológia esetében is igencsak szóródnak. Ha a bevitt/kinyert energia mérlege éppen csak hajszálnyira kedvező (hacsak nem negatív), akkor fenntarthatósági előnyről beszélni aligha lehet.

*Energiatakarékosság – legnagyobb energiatar-talékunk a biomassza vagy a takarékoság?*

Ha világméretben nem történtek volna jelentős energiatakarékossági intézkedések az

jellemző	2. táblázat			
	benzin	kukoricából	etanolfajta cukornádból	cellulózból
fosszilisenergia-mérleg (output E/input fosszilis E)	1,0	1,3	8,00	2,00–36,00
üvegházhatású gáz emissziója (CO <sub>2</sub> egyenérték kg/liter)	2,43	1,93	1,07	0,227
fogyasztói ár (USD/liter benzin energiatartalom)	0,80	0,97	1,00	még nincs forgalomban

2. táblázat

1973-as energiaválság óta, akkor ma az energiaszférában mintegy 50%-kal nagyobb lenne (May, 2007). Az IEA számításai szerint a jelenlegi fogyasztási trend 2030-ig további intézkedésekkel kb. 80 exajoule-lal (18%-kal) mérsékelhető. Nemzetközi összehasonlításban pedig Magyarországnak – az utóbbi évek jelentős hatékonysági javulása ellenére – belátható időn belül mintegy 30% energiataraléka van pusztán takarékosági lépésekre építve. Ez jóval meghaladja a számított fenntartható biomassza-potenciált.

„Játékszabályok” – inkonzisztencia, társadalmi igények

A megújuló energiaforrások, köztük a biomassza-alapú energiatermelés arányának növekedése nem pusztán kihasználható potenciál és azt lehetővé tevő innováció kérdése. Nem választható el a társadalmi-gazdasági környezettől, a „játékszabályok” konzisztens (kívánatos irányba ösztönző), vagy inkonzisztens voltától. Jelenleg még jobbra inkonzisztenciát tapasztalunk, és ennek kapcsán célszerű megkülönböztetni a piaci korlátokat és a piaci hibákat. Piaci korlátok alatt a következők értendők:

- az energiakihívások alacsony prioritása;
- ilyen célú pénzforgások hiánya;
- a takarékosági lépések piaci elismerésének hiánya.

A piaci hibák pedig a kialakulatlan, tökéletlenül működő mechanizmusokat jelentik:

- elaprózott ösztönzési források;
- torz és rossz hatékonyságú információ-áramlás;
- ütköző pénzügyi és jogi szabályozás;
- beárazatlan költségek (externáliák);
- beárazatlan közjavak.

Ezek csak megfelelő (globális, nemzeti, lokális) szinten összehangolt és hosszabb távon

következésként végigvitt, komplex (társadalmi-gazdasági-politikai) lépésekkel küszöbölhetők ki (tompíthatók).

Integrált érdekeltek – környezeti, területi hatások

Nemcsak a bioenergetikai ágazatban közvetlenül érdekelt, hanem az ahhoz közvetve (például a társadalmi-környezeti oldalon) kapcsolódó érintett szereplők érdekeinek integrálása is megoldandó feladat. Ezen belül az ökológiai fenntarthatóság megérdemel egy részletesebb kitérőt, nevezetesen, hogy a biomassza energetikai hasznosításának milyen környezeti hatásait célszerű mérlegelni. Erről az utóbbi években több nemzetközi elemzés is született (EEA, 2006, 2008), amelyeket több tényező motivált:

- az EU megújuló energiával kapcsolatos ambíciózus (emiatt potenciálisan komoly környezeti konzekvenciákkal járó) hosszú távú célkitűzéseinek megvalósíthatósági vizsgálata;
- a klímaválság (légszennyezés) és az energiatartalom egyre erősödő kihívásai;
- a talaj, a víz növekvő szennyezése és a csökkenő biodiverzitás;
- a biomassza élelmiszer-, energia- és egyéb célú hasznosítási formái között egyre intenzívebbé váló verseny.

Az egyik vitatott kérdés, hogy a biomassza-alapú energiatermelés mennyiben elégíti ki a fenntarthatósági szempontokat. Sokan érvelnek a biomassza-alapú energiatermelés ún. externális hasznával, amelynek több összetevője is van, és az energiatermelésben közvetlenül nem érdekelt számos szereplőt érint. Főként a parlagon levő földterületek energetikai célú termelésbe vonását, a vidéki munkalehetőség, népességmegtartás és a jövedelemhez jutás társadalmi hasznát említik meg.

Ha mindehhez hozzávesszük azt a közismert ténytet, hogy a háttérben hatalmas, egymással konfliktusban álló üzleti, politikai érdekek, koncentrált tőkék is meghúzódnak, amelyeknek természetesen megvan a maguk szakértői köre és médiabefolyása is, akkor mindez – párosulva a kétségkívül fennálló, sok-sok szakmai kérdéssel – némi magyarázattal szolgálhat a dilemmák sokaságára és az állásfoglalás bizonytalanságára. Tágabb összefüggésrendszerben gondolkodva (és az üzleti kalkulációk mellett napi tapasztalatainkra is támaszkodva) érdemes figyelembe venni a következő, ökológiai vonatkozású szempontokat is:

Erdőkitermelés? Ha az esőerdő kiirtásával teremtünk helyet az etanol célú cukornád termesztéséhez, akkor kétélyeink támadnak a fenntarthatóságot illetően.

Intenzív termesztés? Ha a talajok (környezet) degradációja, kemikáliával szennyezése az ára a minél nagyobb hozamú biomassza-termesztésnek, akkor túl nagy lehet az ár.

Biodiverzitás? Ha a monokultúras termesztés biológiai hatásait nézzük, az előnyök nem egyértelműek.

Mindezeknek az egymás hatásait direkt és/vagy indirekt módon befolyásoló tényezőknek a figyelembe vétele nélkül elképzelhetetlen olyan közösségi és nemzeti szintű játékszabályok kialakítása, amelyek a szereplőket a célok megvalósítására ösztönzik. Ha kiemeljük a környezeti (ökológiai) kérdéseket, akkor alapvető kritérium számunkra a következő lehet: minden lehetséges úton arra törekedni, hogy *minimalizáljuk* a biomassza energia célú előállításának és felhasználásának *negatív környezeti hatásait*, illetve *maximalizáljuk* a lehetséges *környezeti előnyeit*. Miután az energetikai célra hasznosított elsődleges biomassza a mezőgazdasági, erdészeti termelés-

ből, az ugyancsak energia célú másodlagos, illetve harmadlagos biomassza pedig szerves hulladékból származik, és ezen források nem ugyanúgy fejtik ki hatásukat a környezetre, célszerű ezeket külön tárgyalni.

A *mezőgazdasági termelés* negatív környezeti hatásai tapasztalat szerint a következők:

- az intenzív mezőgazdasági technológiák terjedése, amely degradálja a természeti erőforrásokat;
- természeti területek szántóföldi művelésbe vonása energianövények termesztése céljából;
- a helyi sajátosságokhoz nem illeszkedő növényfajták, -társítások meghonosítása, a biodiverzitás csökkenése;
- a talajerózió növekedése (a szél és az esőzések következtében, amit az éghajlatváltozás felerősít), valamint a nagy súlyú gépek miatti talajstruktúra-rombolás;
- vegyszerek felhalmozódása a talajban és a felszíni vizekben;
- a növekvő méretű öntözés miatt vízellátási problémák és a talajok szikesedése.

Annak érdekében, hogy a biomassza növekvő arányú energetikai felhasználásának környezeti hatásmérlegét optimalizáljuk, az EU-ban kemény *környezeti kritériumok* bevezetését javasolják (EEA, 2006):

- néhány speciális helyzetű tagállamot leszámítva a mezőgazdasági terület legkevesebb 30%-án környezetbarát gazdálkodás (organic farming) megvalósítása 2030-ig;
- a jelenleg intenzíven művelt földterület 3%-ának kivonása a termelésből „ökológiai kompenzáció” jogcímen;
- az extenzív módon művelt földterületek további fenntartása;
- bioenergetikai célú növények termesztése minimális környezetterhelést garantáló feltételek mellett.

A hivatkozott EU-irányelvek hasonlóan részletezik az *energetikai célú* erdészeti ki-termelésnél fontosnak ítélt *követelményeket*.

A *szerves hulladék* energetikai hasznosítá-sának – eltérően a mezőgazdasági vagy erdészeti biomasszától – negatív környezeti hatá-sai nincsenek, hiszen a biohulladék (mellék-termék) hasznosítása éppenséggel a környe-zetterhelést csökkenti. Biohulladék a legtöbb gazdasági ágazatban jelentős mennyiségben és folyamatosan keletkezik, és energetikai hasznosításának legalább négy előnye van:

- a hulladék okozta környezetszennyezés csökkentése;
- fosszilis energiahordozók kiváltásával az üvegházhatású emisszió csökkentése;
- szemben a megújuló energiaforrások többségével nem időszakosan áll rendelkezésre, hanem folyamatosan;
- „előállítás” nem igényel külön ráfordítást, csak a kezelése.

A hivatkozott EU-elemzés az alábbi irányel-vek követésére hívja fel a figyelmet:

- Jelentősen csökkentendő a keletkező ház-tartási hulladék mennyisége (a jelenlegi tendencia alapján számítható mennyiség-hez képest 25%-os csökkentés 2030-ig).
- A biohulladék újrahasznosításának jelen-legi mértékét továbbra is fenn kell tartani (például a szalmatermés vagy az élelmiszer-ipari hulladék 30–40%-a továbbra is nem energetikai célú felhasználású legyen).
- Valamennyi háztartási biohulladékból energiát célszerű termelni (meg kell szün-tetni ennek a szeméttelpi tárolását vagy nem energetikai célú elégetését).
- A természetvédelmi célokkal összhangban csökkenteni kell a fa- és papíripar fafel-használását.
- Növelni kell a mezőgazdasági területeken az energiaerdők telepítését.

A fentiekhez *megfelelő ösztönzőket és jogszabá-lyokat* társítva úgy véljük, elérhető, hogy a biomassza növekvő energia célú hasznosításá-nak negatív hatásait minimalizáljuk, pozitív környezeti hatásait erősítsük, és az EU meg-újuló energiára (ezen belül a biomasszára) vonatkozó hosszú távú célkitűzéseiben vállalt hazai hozzájárulás is megvalósuljon. Ezek alapján a biomassza hasznosításánál a követ-kező fontossági sorrend állítható fel:

- a nem energetikai célú biomassza előállít-ásakor, feldolgozásakor és fogyasztásakor keletkező melléktermékek és hulladékok hasznosítása;
- a használatlan földterületek energetikai célú termelésbe állítása (biomassza mint energia célú főtermék előállítása);
- az erdészeti kitermelés, illetve az egyéb célra is használt földterület bevonása.

Összefoglalva a biomassza-alapú energiatermé-lés kapcsán tárgyalt kérdéseket, újfent hang-súlyozzuk a bevezetőben kiemelt megközelítési szempontokat. Érthető, ha a megújuló energiaforrások, így a biomassza alig kihasz-nált potenciálját látva sokan energetikai probléma-ink végső megoldását látják bennük. A hozzá vezető utat azonban célszerű minél tárgyilagosabb megközelítésben felvázolni, amely csak a még nyitott kérdések tudomá-nyos igényű feltárásán, elemzésén és megvá-laszolásán alapulhat. Ez felhívja a figyelmet egy *fenntartható energiagazdálkodási stratégia* szükségességére. Ebbéli erőfeszítéseinket megkönnyítheti, ha állásfoglalásainkban (szemben a bulvármédia szokásaival) mindig igyekszünk rámutatni: mi az, amiben már biztosak vagyunk, mi az, amit még csak sej-tünk, és mi az, amit még nem tudunk.

Kulcsszavak: *fenntartható energiagazdálkodás, bioenergetika, bioenergetikai potenciál*

## IRODALOM

- Dinya László (2007): Fenntartható energiagazdálkodás – ökoenergetika. Ma & Holnap. VII, 3, 26–29.
- Dinya László (2008): *Biomassza-alapú fenntartható energiagazdálkodás* (előadás a Magyar Tudomány Napján, MTA, 2008. nov. 6., <http://vod.niif.hu/player/index.php?q=1587/1M>)
- Dinya László (2009): *Áttekintés a biomassza-alapú energiatermelés helyzetéről*. MTA Környezettudományi Elnöki Bizottság, Energetika és Környezet Albizottság, Budapest
- EEA Report (2006): *How Much Bioenergy Can Europe Produce without Harming the Environment?* No. 7/2006, ISSN 1725-9177
- EEA Technical Report (2008): *Maximising the Environmental Benefits of Europe's Bioenergy Potential*. No. 10/2008, ISSN 1725-2237

- Greenpeace International (2007): *Energy (R)Evolution. A Sustainable World Energy Outlook*. Greenpeace International–EREC, 1–96. <http://www.greenpeace.org/international/Global/international/publications/climate/2010/fullreport.pdf>
- Gyulai Iván (2008): A biomassza-dilemma. MTVSZ, 1, 1–73.
- May, Carol (ed.): *Mind the Gap*. IEA Publications, Paris
- Burne, Joel K. (2007): Zöldet a tankba. National Geographic – Magyarország, október, 60–81
- Láng István (főszerk.): *Környezet- és természetvédelmi lexikon*. Akadémiai, Budapest
- Kurzweil, Raymond (2005): *The Singularity Is Near*. Viking Press

