


A megújuló és a nem megújuló energiaforrásokra alapozott erőművi technológiák energiamegtérülési rátája és externáliái (CO₂)



A megújuló és megújítható energiaforrások felhasználásának kutatása sok évtizedre tekint vissza Magyarországon is. Ezek a kutatások az 1980-as években elsősorban a növénytermelés melléktermékeire fókuszáltak (lásd például Lehoczki, Takács 1981 és Lehoczki, Takács 1983, ahol a KTB-R szalma hengerbála tüzelő berendezés üzemi kísérleteinek ökonómiai értékelése kerül bemutatásra). Az 1990-es években már sokkal inkább a különböző energetikai célú hasznosításra termesztett növények és az azok hasznosítására alkalmas technológiák (bioetanol, biodízel előállítás, fás és nem fás szárú tüzelőanyagok) felé fordult a kutatók figyelmé. Abban az időszakban a biomassza alapú alternatív energiaforrások használatának elterjedését nagymértékben lassította a fosszilis energiaforrások relatíve alacsony ára, és a biomassza alapú energiaforrások előállítására szolgáló technológiák relatíve alacsony energiamegtérülése.^[2] A 2000-es évekre a fosszilis energiaforrások ára tartósan megemelkedett, nőtt az alternatív energiaforrások versenyképessége, melyhez az is hozzájárult, hogy a kutatók nézeteit egyre inkább elfogadták a különböző kormányok politikai vezetői, és akcióterveket dolgoztak ki a környezetterhelés csökkentésére. Felerősödött a fenntartható fejlődés iránti igény. Nem részletezve a fenntarthatóság fogalmi megközelítéseit, az értelmezésben meglévő vitákat, annyit leszögezhetünk, hogy a kérdéskör komplex megközelítést igényel: a környezeti tényezők fenntarthatósága mellett a gazdasági és a társadalmi tényezők fenntarthatósága esetén beszélhetünk valódi fenntarthatóságról.

Az egyes pillérek esetén a fenntarthatóság értékelése más-más tudományterületek feladata, de ugyanakkor azok át is fedik egymást. Ennek szemléltetésére jó példa a projektek megvalósíthatóságának értékelése, amelyek általános

[1] Károly Róbert Főiskola, Üzleti Tudományok Intézete, egyetemi docens, intézetigazgató (itakacs@karolyrobert.hu).

[2] Takács I. – Nagy-Kovács E. – Marselek S. (2012): A biomassza energiacélú felhasználásának energetikai és gazdasági kritériumai. In: Kis-Simon Tünde – Tóth Éva (szerk.): „A mezőgazdaságtól a vidékgazda(g)ságig.” 54. Georgikon Napok. Keszthely. 465–475.

szempontrendszere szerint vizsgálni kell a műszaki (ami magában foglalja a természeti és társadalmi környezetet leíró értékelési vátozókat), a pénzügyi, valamint a gazdasági megvalósíthatóságot egyaránt. A szempontok értékelése általában hierarchikus, azaz: a műszaki megvalósíthatóság (létezik-e az eszköz, megfelelő a technológia, illetve beszerezhető-e az engedélyek, hogy az adott projekt az adott helyen, az adott időben kivitelezhető legyen) előfeltétele a gazdasági megvalósíthatóság (megtérülés) vizsgálatának, amely szükséges (de általában nem elégséges) feltétele a pénzügyi megvalósíthatóságnak (a finanszírozási források megszerezhetőségének) is. A három feltételrendszer ugyanakkor kölcsönösen hat egymásra is, hiszen a műszaki megvalósíthatóság feltételeinek teljesítése befolyásolja a projektköltségeket, illetve a lehetséges bevételeket, továbbá a forrásösszetétel a forrásköltségeket, amelyek szintén befolyásolják a megtérülés alakulását, ugyanakkor a megtérülés vizsgálata során feltárt gazdasági kockázatok kihatnak szintén a forrásköltségre (kockázati kamatfelár).

A szokásosan vizsgált szempontrendszer ténylegesen magában foglalhatja a környezeti-gazdasági-társadalmi fenntarthatóság követelményrendszerének teljesülését, ugyanakkor egyidejű vizsgálatuk explicit módon általában nem történik meg.

Ebből a felvetésből kiindulva kidolgozásra került egy olyan optimalizáló modell,^[3] amely a természeti fenntarthatóság argumentálására közvetlenül (például energia egyenleg vagy az aggregált CO₂ kibocsátás), illetve közvetve (például a szállításból adódó környezeti terhelés minimalizálásával) alkalmas, továbbá a modell hatótényezőként kalkulál a társadalmi fenntarthatósággal, annak a foglalkoztatást, a szervezeti struktúrák teljesítményét, az eszközhatékonyságot, a tőkelekötési igényt befolyásoló hatásaival (hány darab, milyen teljesítményű eszközzel oldják meg a feladatot).

A kidolgozott modell elsődleges célja, hogy a melléktermékként keletkező biomassa energetikai célú hasznosítására alkalmas alternatív megoldások közül segítsen kiválasztani a komplex feltételrendszernek legjobban megfelelő változatot. A modell ugyanakkor minden olyan optimalizálási probléma megoldására alkalmas, ahol a térben elszórtan keletkező energetikai célra felhasználható biomassa

- szállítási körzetének lehatárolására,
- az erőmű optimális helyének kiválasztására,
- a modellváltozatok energiamegtérülésre, aggregált CO₂ kibocsátásra gyakorolt hatásának értékelésére,
- és szervezeti megoldások gazdasági kihatásainak elemzésére van szükség.

Az optimalizálás komplex mutatórendszer felhasználásával történik, amelyben az elterjedten alkalmazott beruházás-gazdasági kritérium kiegészül egy szállítási optimalizálással, illetve energiahatékonysági, további lehetőségként aggregált CO₂ kibocsátás optimalizálási komponenssel.

[3] Uo.

A modell dimenziói:

- Nettó szállítási költség;
- Energiaegyenleg;
- Aggregált CO₂ kibocsátás;
- Beruházás nettó megtérülése.

A logisztikai költségek optimalizálásával jelen tanulmányban nem foglalkozom, csak megemlítem, hogy ahhoz szükségesek a termőhely adottságainak ismerete, amely magában foglalja:

- az egyes termelők térbeli elhelyezkedését
- a termelési pontok és a biomassa hasznosító pontok távolságát
- a termőhelyen képződő biomassa mennyiségét
- a termőhelyen képződő biomassa energia-egyenértékét
- a termőhelyen a mennyiség és energia-egyenérték projekt élettartama alatti várható alakulását
- a termelési pontok és a biomassa hasznosító pontok közötti szállítás átlagos költségét.

Az energetikai termelő üzem helyének kiválasztását a következő szempontok határozzák meg:

- nyersanyagok közelsége,
- közlekedési infrastruktúra, cél a szállítási költségek minimalizálása,
- infrastrukturális ellátottság,
- környezetvédelmi szempontok,
- a megtermelt energia értékesítési/felhasználási szempontjai.

A logisztikai távolság, illetve a szállítási költségek minimalizálására elterjedten alkalmazott módszerek közé tartoznak a legkisebb négyzetek módszere és a súlyozott legkisebb négyzetek módszere. A modellben ezeket a módszereket alkalmazzuk a logisztikai költségek optimalizálására.

A kutatás célja (1) a megújítható és nem megújuló energiaforrásokra alapozott energiatermelés értékelése kritériumrendszerének felülvizsgálata; (2) többtényezős, a fenntarthatósági kritériumok argumentálásával létrehozott értékelési modell megalkotása, amely támogatja a biomassa égetési cél felhasználására szolgáló égetőmű helyének kiválasztását, és annak ellátási körzete lehatárolását, a döntési alternatívák rangsorolását.

KUTATÁS MÓDSZERE

A tanulmány dokumentumelemzésre alapozva egy elméleti modell megalkotásának szempontrendszerét mutatja be az olvasó számára, valamint az elméleti modell leírását adja meg.

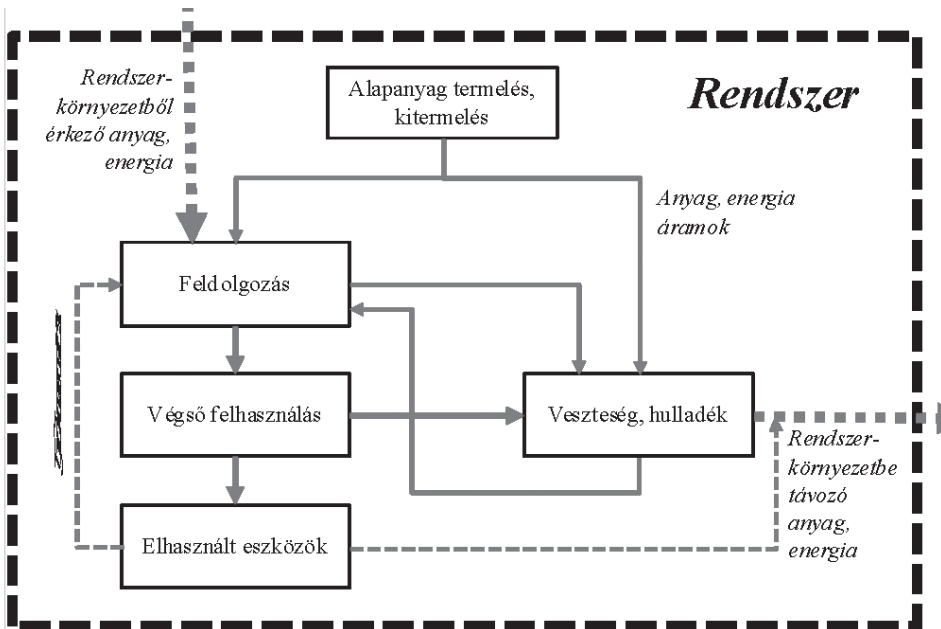
A modell alapját egy újszerű megközelítés adja: az eszközök (szolgáltatások) energialábnyma, a megtestesült energia (Embodied Energy), amely kifejezi azt az energiamennyiséget, amely egy adott termék vagy szolgáltatás létrehozásához és élettartama alatti működtetéséhez szükséges.

A vizsgált kritériumok nominális értékei eltérő értelmezési tartományokban vannak, nagyságrendi eltérések jellemzik azokat, ezért az összehasonlíthatóság miatt értékeik standardizálásra kerülnek, továbbá az értéktartományon belüli változások iránya azonos értelmezhetősége miatt konverzióra kerül sor azoknál a változóknál, amelyek esetén az értékek csökkenése a kedvező.

EREDMÉNYEK

Jelen tanulmány fókuszában az energiamegtérülés kérdése szerepel. Az energiafelhasználás és a felhasznált energia megtérülése az anyagáram-modellek koncepciójának felhasználásával vizsgálható. Az anyagáram-modellek koncepcióját (1. ábra) az alapanyag kitermelés/előállítás-feldolgozás-hasznosítás-anyagvesztések mérlegegyenletei írják le.

1. ábra: Az anyag- vagy energiaáram modellje



Forrás: Saját szerkesztés.

A tiszta anyagáram esetén (azaz nem alakul át az anyag energiává) – az anyagmegmaradás törvénye következtében – a rendszerbe bevitt összes anyag tömege egyező a rendszerben felhalmozott és a veszteségként a rendszerből távozó anyagok mennyiségével.

Az energiaáram szemléltetésre az energiaáram (energy flow) vagy másként Sankey diagram nyújt további lehetőséget. Ez a szemléltetési modell a teljes energiamennyiség megoszlását mutatja be. A ténylegesen felhasználható energia (available energy) áramlásának elemzésére az exergy flow vagy másként Grossmann diagramot használják.

Az energiaáram esetén is igaz ez az elv, ugyanakkor a környezetből hasznosított energia mennyisége (esetünkben döntően a napenergiával kell számolni) jelentős hányadot képvisel a hasznosítható energiamennyiség előállításában, ugyanakkor az előállítás folyamatához is kapcsolódik jelentős rejtett (a termeléshez használt eszközökben megtestesülő, a felhasznált anyagok és a gyártás folyamán bevitt energia révén (embodied energy)), illetve nyílt (az üzemanyagok révén folyamatba vitt) energia. Az eszközök ugyanakkor nem csak a gazdasági értéküket (lásd amortizáció) adják át több termelési cikluson keresztül a termékeknek, hanem a létrehozásukhoz szükséges energiát is.

Az energiamegtérülés szempontjából tehát azt mérjük, hogy a rendszerbe bevitt közvetlen és közvetett fosszilis energiahordozó alapú energia milyen mértékben (hányszor) térül meg a rendszer által az élettartama alatt előállított energiamennyiségekben. Ennek mérésére dolgozták ki az EPR (Energy Payback Ratio) energiamegtérülési hányadost, amely életciklus analízissel vizsgálja az összes nettó energiahozam és az összes energiaráfordítás viszonyát.^[4]

$$EPR = \frac{E_{n,L}}{(E_{mat,L} + E_{con,L} + E_{op,L} + E_{dec,L})}$$

ahol:

$E_{n,L}$ a létesítmény L élettartama alatt megtermelt összes nettó energia (J)

$E_{mat,L}$ a létesítmény L élettartama alatt az anyagokban bevitt összes energia (J)

$E_{con,L}$ a létesítmény L élettartama alatt az eszközökben, létesítményekben bevitt összes energia (J)

$E_{op,L}$ a létesítmény L élettartama alatt az üzemeltetéssel, üzemanyagokkal bevitt összes energia (J)

$E_{dec,L}$ a létesítmény L élettartama utáni felszámolásához szükséges összes energia (J)

Az eszközök energialábnymának, azaz az azokban megtestesülő energiának (embodied energy) a becslése egy a modern megközelítésmódja az energiahatékonyság mérésnek, melynek révén valós képet kapunk az egyes energia-megtakarítást célzó megoldások hasznosságáról. A megközelítésmód

[4] White, S. W. - Kulcinski, G. L. (2000): *Birth to death analysis of the energy payback ratio and CO₂ gas emission rates from coal, fission, wind and DT-fusion electrical power plants*. Fusion engineering and design, 48. 473-481.

Leontief input-output megtestesült energia elemzése (Input-Output Embodied Energy analysis) nevet viselő modellje, amely a neoklasszikus általános egyensúlyi elmélet adaptációja.^[5] A modell gyakorlati alkalmazásában/alkalmazhatóságában jelentős szerepe van azoknak a kutatásoknak, vizsgálatoknak, amelyek kísérletet tesznek a különböző anyagok, eszközök energia-egyenértékésének meghatározásában. Ebben a University of Bath (UK) kutatóinak tevékenysége kiemelkedő.^[6] Az 1. táblázat néhány jellemző anyag és berendezés a 2. táblázat a fotoelektromos cellák energia és CO₂ egyenérték adatait mutatja be.

A táblázatban néhány jellemző anyagféleségre találhatunk információt, ugyanakkor egy gép, berendezés, épület vagy építmény energia-egyenértékének meghatározása összetett dolog. Treloar et al. becslése szerint például egy átlagos ausztrál személygépkocsi energia egyenértéke 0,22-0,27 TJ. Az életciklus alatt az egyes elemek relatív súlya változik, amit a vizsgálatok során figyelembe kell venni (például számításaikban az első évben a gépjármű 64%-kal, az útépités 21%-kal, a gépjármű üzemeltetés 15%-kal részesedik az energia-egyenértékből, míg az életciklus végére (a 40 év alatt) a járműüzemeltetés 62%, a gépjármű gyártás és fenntartás 28%, az útépités 10% részarányt képvisel az összesen 6.572 TJ energia-egyenértékből (megtestesülő energiából).^[7]

Egyidejűleg számolni kell azzal, hogy a műszaki fejlődés és fejlesztés hatására az egyes tevékenységek energiahatékonysága nő (2. ábra), amely az alkalmazott normaértékek időről-időre történő felülvizsgálatának szükségességére hívja fel a figyelmet.

A technikai hatások javulása döntő tényezője a berendezések energetikai megtérülésének. Gyakori tapasztalat, hogy az elsőgenerációs technológia berendezéseinek létrehozása több fosszilis energiát igényel, mint amennyit az élettartama alatt megtermelni képes. Ez egy hosszú távú innovációs folyamat kezdeti többlet-tőkebefektetése, és rávilágít a kérdés komplex megközelítésének szükségességére. Ugyanakkor a későbbi generációk már pozitív energia egyenlegre képesek.

[5] Leontief, W. (1966): *Input-Output Economics*. Oxford University Press, New York. 134. Lásd továbbá: *Wikipedia: Embodied energy* (2012). (Elérhető: http://en.wikipedia.org/wiki/Embodied_energy Letöltés ideje: 2012.06.16.)

[6] HAMMOND, G. P. - JONES, C. I. (2008): *Inventory of Carbon and Energy (ICE)*. University of Bath. (Elérhető: http://perigordvacance.typepad.com/files/inventoryofcarbonand_energy.pdf Letöltés ideje: 2012.06.16.)

[7] Treloar, G. J. - Love, P. E. D. - Crawford, R. H. (2004): *Hybrid Life-Cycle Inventory for Road Construction and Use*. Journal of Construction Engineering and Management, 130(1). 43-49. Elérhető: <http://www.inference.phy.cam.ac.uk/sustainable/refs/lca/Treloar.pdf>. Letöltés ideje: 2012.06.16.

1. táblázat: Néhány anyagban megtestesült energiatartalom

Anyag megnevezése	Energia	Szén	Sűrűség
	MJ/kg	kg CO ₂ /kg	kg/m ³
Beton (1:1.5:3)	1.11	0.159	2400
Tégla (közönséges)	3	0.24	1700
Beton falazóblokk (közepes sűrűségű)	0.67	0.073	1450
Márvány	2	0.116	2500
Cement habarcs (1:3)	1.33	0.208	
Acél (általános, átlagos újrahasznosított tartalommal)	20.1	1.37	7800
Fa (általános, szélezett)	10	0.72	480 - 720
Üvegyapot szigetelés	28	1.35	12
Szalma bála	0.91		100 - 110
Fajansz csempe	6.5	0.45	1900
Alumínium (általános, 33% újrahasznosítási hányad)	155	8.24	2700
Üveg	15	0.85	2500
PVC (általános)	77.2	28.1	1380
Gyapjúszőnyeg	106	5.53	
Vas (általános)	25	1.91	7870
Réz (átlag 37% újrahasznosított hányad)	42	2.6	8600
Fajansz felszerelési tárgyak	29	1.51	
Festék - Vizes bázisú	59	2.12	
Festék - Szintetikus hígító	97	3.13	

Forrás: Hammond - Jones (2008); Wikipedia: Embodied energy (2012).

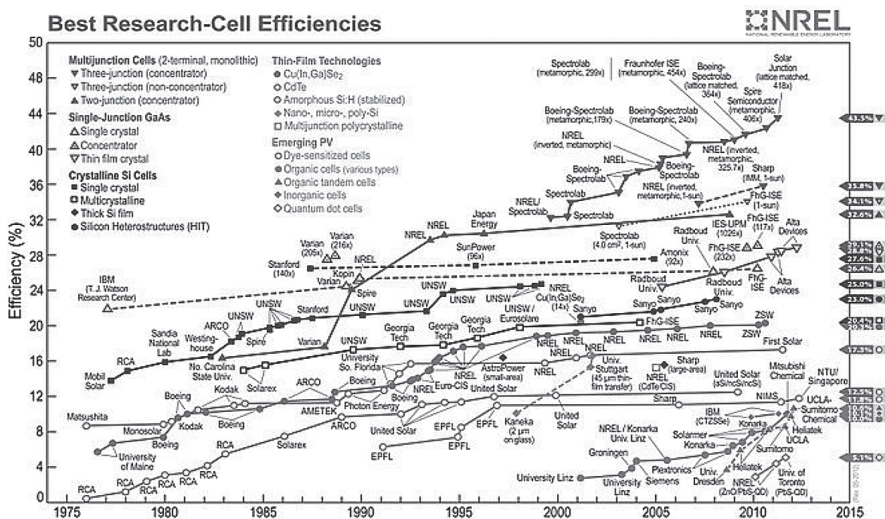
2. táblázat: A fotoelektromos cellákban megtestesülő energia és CO₂ tartalom

Fotoelektromos cella típusa	Energia (MJ per m ²)	Szén (kg CO ₂ per m ²)
Monocrystalline (átlagos)	4750	242
Polycrystalline (átlagos)	4070	208
Thin film (átlagos)	1305	67

Forrás: Hammond - Jones (2008); Wikipedia: Embodied energy (2012).

A biomassza alapú energiatermelés externális költségeinek szóródása jelentős a különböző európai országokban (a jellemző értékek 1-2 euro cent kWh-ra vetítve, de vannak olyan országok, amelyben elérheti az 5-6 euro centet is kWh-ra vetítve). Ez felhívja a figyelmet a költségkomponens elemzésének fontosságára (3. ábra). Ugyanakkor azzal is számolni kell az elemzés során, hogy az alternatív energiaforrások egy jelentős hányada jelentősen alacsonyabb externális költségekkel állítható elő (3. táblázat). A biomassza versenyképessége elsősorban az olaj és a szén alapú energiatermeléssel szemben egyértelmű, napjainkban azok kiváltásában számolhatunk vele.

2. ábra: A kutatási eredmények hatása: a napelem cellák hatásfokának javulása a kutatási eredmények alapján



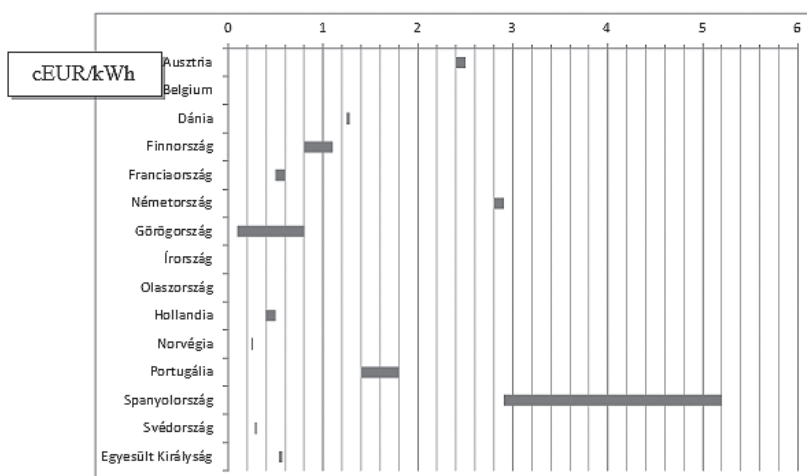
Forrás: National Renewable Energy Laboratory (USA).
(Elérhető: http://www.nrel.gov/ncpv/images/efficiency_chart.jpg)

A biomasszára alapozott energiatermelés energiamegtérülési rátája 15-30-szoros (4. táblázat), amely érték kedvező helyet foglal el az egyes erőművi technológiák összehasonlításában, ugyanakkor számolni kell azzal, hogy az aggregált CO₂ kibocsátás mutató viszonylag kedvezőtlen lehet, amit a magas GWP értékek jeleznek.^[8] A GWP (Global Warming Potential = globális felmelegedési potenciál) a gázok üvegházhatásának számszerűsítésére használt mutató, amely azonos tömegű szén-dioxidhoz képest határozza meg az adott gáz üvegházhatásának értékét, meghatározott időintervallumra (ez általában 100 év). Értelemszerűen a szén-dioxid GWP-je a definíció szerint 1.

[8] Lund C. - Biswas, W. (2008): *A Review of the Application of Lifecycle Analysis to Renewable Energy Systems*. Bulletin of Science Technology Society, 28. 200-209.

A korábbiakban többször kihangsúlyozásra került, hogy a vizsgálatok során az élettartamra vonatkoztatva elemezzük az energia megtérülést. Ebben az esetben természetesen a különböző eszközöknek eltérő élettartama van, amely következtében rögzíteni kell, hogy vizsgálatainkban az energiatermelési technológia kulcsberendezésének élettartama a meghatározó, amely – többnyire – a többi technológiai eszköznél, berendezésnél hosszabb élettartammal rendelkezik. Ennek következtében mind az energiaráfordítás kapcsán, mind pedig a gazdasági megtérülés számítása során az életciklus elemzés adott időpontjaiban a pótlólagos beruházást, illetve az ehhez kapcsolódó pótlólagos energiaráfordítást figyelembe kell venni.

3. ábra: Biomassza tüzelőbázisú villamosenergia-termelés externális költsége különböző európai országokban



Forrás: Hammond - Jones (2008); Wikipedia: Embodied energy (2012).

3. táblázat: Externális költségek jellemző értékei

cEUR/kWh	Minimum	Jellemző	Maximum
Biomassza	0,1	2,2	5,2
Vízenergia	0,01	0,35	0,7
Szélenergia	0,05	0,13	0,26
Olaj	2,6	4,5	10,8
Szén	1,7	5,5	14,5

Forrás: A villamosenergia termelés externális költségei... (2010).

4. táblázat: Externális költségek jellemző értékei

cEUR/kWh	Minimum	Jellemző	Maximum
Földgáz	0,5	1,6	3,5
Atomerőmű	0,24	0,4	0,76

Forrás: A villamosenergia termelés externális költségei... (2010).

További szempont, hogy olyan technológiai elemek esetén (például a szállítás), amelyekben a használt eszközök kapacitásának csak egy részét használjuk, akkor a teljesítményhez adekvát (a várható élettartam alatt tervezhető teljesítményből) arányosítással kell a bevitt energia mennyiségét, illetve a beruházással, üzemeléssel kapcsolatos költségeket elszámolni.

ENERGIAMEGTÉRÜLÉS AZ ENERGY PAYBACK RATIO (EPR) ALAPJÁN

A komplex modellből az energiamegtérülés számítását emelem ki. Az energiamegtérülés meghatározása a projekt életciklus elemzésével történik, az élettartam (Y) alatt képződő hasznosítható/hasznosított energia, valamint a közvetlenül vagy közvetve felhasznált energia mennyiségének összehasonlításával, amelyek számításának menete a következő:

1. a projekt élettartama alatt megtermelt hasznosítható energia mennyiségének becslése,
2. a projekt teljes élettartama alatt közvetlenül (üzemanyagok) vagy közvetve (megtestesült) felhasznált energia (az energialábnyom nagyságának) becslése:
 - 2.1. a teljes egészében a projekt céljait szolgáló beruházott eszközökben megtestesült energia becslése;
 - 2.2. a projekt céljait csak részben szolgáló eszközökben megtestesült energia élettartam teljesítmény alapján – az eszközök használati körülményeit figyelembe véve – teljesítményegységre vetített (fajlagos) energiaértékének becslése;
 - 2.3. a projekt céljait csak részben szolgáló eszközök projekt céljaira felhasznált teljesítményének becslése;
 - 2.4. a projekt élettartama alatt felhasznált üzemanyagai energiaértékének becslése;
 - 2.5. a projekt működéséhez kapcsolódóan igénybevett infrastruktúra használatarányos energia egyenértéke;
 - 2.6. a projekt üzemeltetéséhez szükséges munkaerő létfenntartó szükségletei biztosításának használatarányos energia egyenértéke;
 - 2.7. a projekt élettartamának végén a megszüntetéséhez szükséges energia becslése.

5. táblázat: A megújuló és nem megújuló energiahordozókra alapozott erőművi technológiák energiamegtérülési rátája és a globális felmelegedéshez való hozzájárulásuk

Energiatermelési technológia		Energia- megtérülési hányados (EPR)	Globális felmele- gedési potenciál (GWP) (tonna CO ₂ /GWh)
Megújuló és megújítható energia	Vízenergia	tározóval	48-260
		folyóvízes	20-267
	Fotó-elektromos (napelem)		6-9
	Szélenergia	szárazföldi	34
		part menti	18
	Biomassza	faültetvény	27
kombinált ciklusú, integrált biomassza gázosítás		15	
Konvencionális, nem megújuló energiahordo- zókra alapozott technológiák	Olajtüzelésű erőművek		0,7-2,9
	Széntüzelésű erőművek		2,5-5,1
Nem megújuló energiahordo- zókra alapozott tisztá technoló- giák	Kombinált ciklusú széngázosítás		3,5-7,0
	Kombinált ciklusú földgáztüzelésű erőmű		2,5

Forrás: Lund - Biswas (2008) alapján.

Energia megtérülés számítása

$$EPR = \frac{E_i^N}{E_i^E + E_i^O + E_i^R}$$

ahol: EPR energia megtérülési hányados a projekt élettartamára (-)

E_i^N az i projektalternatíva nettó (felhasználható) energia becsült értéke a projekt élettartama alatt (J)

E_i^E az i projektalternatíva eszközeiben megtestesült energia becsült értéke a projekt élettartama alatt (J)

E_i^O az i projektalternatíva üzemeltetése során felhasznált anyagok, energia, élőmunka létfenntartás megtestesült energia egyenértéke a projekt élettartama alatt (J)

E_i^R az i projektalternatíva esetén a helyreállítás becsült energia egyenértéke az élettartam végén (J)

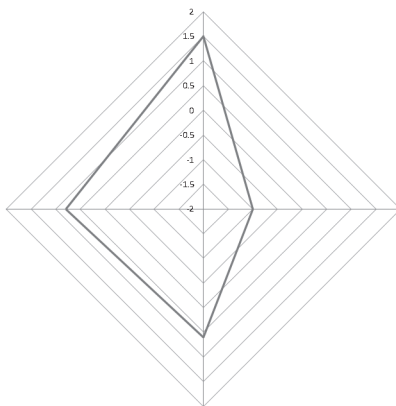
A modell optimuma:

A pillérek standardizált modellértékei által lefedett terület minimuma (4. ábra). A tengelyek sorrendje kötött: az óramutató járásával megegyező irányban (1) a standardizált logisztikai költségek, (2) az energiamegtérülés, (3) az aggregált CO₂ kibocsátás, (4) az élettartam alatti jövedelem mutatója.

Előnyös:

- Költség (LC = C) minél alacsonyabb
- EPR minél magasabb
- Aggregált CO₂ kibocsátás minél alacsonyabb
- Jövedelem (NPV) minél magasabb

4. ábra: A standardizált kritériumértékek által kifizített terület a pókhálódiagramban



Forrás: Saját szerkesztés.

A vizsgált alternatívák közül azt tekintjük optimumnak, amely esetén a négy kritérium standardizált értékei által határolt terület a legnagyobb. A négyszög területének számítása az azt alkotó derékszögű háromszögek területének felhasználásával történik. Mivel a standardizált értékek negatív értéket is felvehetnek, így a közös csúcspontban a legkisebb standardizált érték van, így a háromszög oldalhossza (D) a következő:

Az értékekkel kijelölt terület nagysága:

$$T_j = \frac{1}{2} (D_j^{LC} \cdot D_j^{EPR} + D_j^{EPR} \cdot D_j^{CO_2} + D_j^{CO_2} \cdot D_j^{NPV} + D_j^{NPV} \cdot D_j^{LC} \cdot D_j^{NPV})$$

ahol: T_j standardizált kritériumértékek által lefedett terület (-)
 D_j^{LC} alternatíva projekt élettartam alatti logisztikai költségeinek transzformált standardizált értéke (-)

D^{EPR}_j alternatíva projekt élettartam alatti energetikai megtérülési mutatójának transzformált standardizált értéke (-)

standardizált értéke (-)

$D^{CO_2}_j$ alternatíva projekt élettartam alatti aggregált CO₂ kibocsátás mutatójának transzformált standardizált értéke (-)

standardizált értéke (-)

D^{NPV}_j alternatíva projekt élettartam alatti nettó jelenértékkel mért jövedelemtermelésének transzformált standardizált értéke (-)

Az optimum:

$$\max_{j \in [1, k]} T_j$$

Az alternatívák rangsorolása a standardizált értékekből számított területek alapján történik (6. táblázat).

6. táblázat: Minta a projektalternatívák összevetésére

Szcenário jele	Alapanyag beszállítási körzet jellemzői	Eszközpark jellemzői	Szervezeti jellemzők	Sorrend
A	A begyűjtési körzet lefedi a modellezett földrajzi egységet képező térséget, úthálózat sűrűség kiegyenlített.	Korszerű eszközpark átlagos kihasználással.	Eseti együttműködés, nem koordinált döntéshozatal	2
B	A begyűjtési körzet túlnyúlik a modellezett földrajzi egységet képező térségen, kedvező úthálózat sűrűség.	Korszerű eszközpark átlag feletti kihasználással.	Kooperáló résztvevők, koordinált döntéshozatali mechanizmusok	1
C	A begyűjtési körzet kisebb a modellezett földrajzi egységet képező térségnél, kiegyenlítetlen úthálózat sűrűség.	Korszerű, nagy teljesítményű eszközpark átlag alatti kihasználással, kapacitásfelesleggel.	Nem együttműködő résztvevők, alacsony eszköztesztelési mények, nem koordinált döntéshozatal	3

Forrás: Saját szerkesztés.

KÖVETKEZTETÉSEK

A gazdasági-társadalmi folyamatok összetettsége igényli a komplex megközelítésmódot az értékelési folyamatok során. A biomasza energetikai célú hasznosítása során egyrészt hasznosítható energiát hoz létre, ugyanakkor a folyamat megvalósítása közvetlenül vagy közvetve energiát emészt fel (lásd a megtestesült energia), de környezeti externális hatásai is vannak (hő kibocsátás, CO₂ kibocsátás), amelyek kedvezőtlenek.

Az inputok megszerzése nem csak logisztikai kérdés, hanem az előbbieken kiemelt két tényező volumenét is befolyásolja (felhasznált eszközökben, infrastruktúrában megtestesült energia, a szállítási távolságokhoz kapcsolódó CO₂ kibocsátás stb.).

Ugyancsak ki kell emelni, hogy az eszközök használatának hatékonysága, a társadalmi kapcsolatok minőségét is jellemző együttműködés szintje befolyással van az energiamegtérülésre, illetve az externáliák volumenére: a magasabb szintű szervezettség, a hatékonyabb eszközhasználat javítja az energiamegtérülést, csökkenti a környezetterhelést.

A hagyományos gazdasági megtérülés kiegészítése a fenntarthatóság követelményét megjelenítő kritériumokkal távlatosabb gazdálkodói gondolkodást mutat, ugyanakkor támogatja a megalapozottabb döntések meghozatalát.

IRODALOM

- *A villamosenergia termelés externális költségei, különös tekintettel a megújuló energiaforrásokra* (2010). Elemző tanulmány. V2.0. Készült a MEH részére. Power Consult Szolgáltató Kft., Budapest. Április. 163. Elérhető: http://www.eh.gov.hu/gcpdocs/201006/meh_externalia_powerconsult.pdf Letöltés ideje: 2012.06.16.
- Hammond, G. P. – Jones, C. I. (2008): *Inventory of Carbon and Energy (ICE)*. University of Bath. Elérhető: <http://perigordvacance.typepad.com/files/inventoryofcarbonandenergy.pdf> Letöltés ideje: 2012.06.16.
- Lehoczky M. – Takács I. (1981): *A melléktermék felhasználás műszaki fejlesztésének lehetőség és gazdaságosságának összefüggése*. Kutatási jelentés. MÉM Műszaki Intézet, Gödöllő,
- Lehoczky M. – Takács I. (1983): Növénytermesztési melléktermékek hasznosításának ökonómiai értékelése. In: *MTA-MÉM AMB Kutatási Tanácskozás*. Gödöllő.
- Leontief, W. (1966): *Input-Output Economics*. Oxford University Press, New York.
- Lund C.- Biswas, W. (2008): *A Review of the Application of Lifecycle Analysis to Renewable Energy Systems*. Bulletin of Science Technology Society.
- National Renewable Energy Laboratory (USA) (2014): *Best research-cell efficiency*. Elérhető: http://www.nrel.gov/ncpv/images/efficiency_chart.jpg Letöltés ideje: 2014.09.07.
- Takács I. – Nagy-Kovács E. – Marselek S. (2012): A biomassza energiacélú felhasználásának energetikai és gazdasági kritériumai. In: Kis-Simon Tünde – Tóth Éva (szerk.): *„A mezőgazdaságtól a vidékgazda(g)ságig.”* 54. Georgikon Napok. Keszthely.
- *The NEED Project. 2011. Efficiency conservation. Energy consumption*. Elérhető: http://www.need.org/needpdf/infobook_activities/IntInfo/Consl.pdf Letöltés ideje: 2012.06.16.
- Treloar, G. J. – Love, P. E. D. – Crawford, R. H. (2004): *Hybrid Life-Cycle Inventory for Road Construction and Use*. Journal of Construction Engineering and Management, 130(1). 43–49. Elérhető: <http://www.inference.phy.cam.ac.uk/sustainable/refs/lca/Treloar.pdf> Letöltés ideje: 2012.06.16.

- White, S. W. – Kulcinski, G. L. (2000): *Birth to death analysis of the energy payback ratio and CO₂ gas emission rates from coal, fission, wind and DT-fusion electrical power plants*. Fusion engineering and design, 48.
- *Wikipedia: Embodied energy* (2012). Elérhető: http://en.wikipedia.org/wiki/Embodied_energy Letöltés ideje: 2012.06.16.
- *Wikipedia: Matthew Henry Phineas Riall Sankey* (2012). Elérhető: http://en.wikipedia.org/wiki/Matthew_Henry_Phineas_Riall_Sankey Letöltés ideje: 2012.06.16.
- *Wikipedia: Sankey diagram* (2012): In 1898, M.H.P.R. Sankey's published the first energy flow diagram (a visualisation to be christened 'Sankey diagram') (from the Minutes of Proceedings of The Institution of Civil Engineers. Vol. CXXXIV, Session 1897-98. Part IV). Elérhető: http://en.wikipedia.org/wiki/Sankey_diagram Letöltés ideje: 2012.06.16.

ENGLISH ABSTRACT

Research of power-station technologies based on renewing and renewable source of energy has been present for several decades in Hungary. As a result of the improvements in technologies the technical solutions available to users have become more and more efficient. This allows sustainable solutions to be used that are based on the evaluation of not only the criteria of the economic return but on its complex approach (which ensure compliance with criteria of environmental, economic and social sustainability at the same time). The paper introduces an evaluation model for project alternatives based on this kind of complex approach, in which the key factors of environmental sustainability i.e. return of energy and CO₂ play an outstanding role. The energy return rate of energy production technologies based on renewable sources, especially on biomass, is generally speaking fair, but it has to be mentioned that at long transport distances this advantage could decrease or disappear because of the embodied energy in used fuel, trucks and roads.