

(110) **TAKÁCS I., NAGY-KOVÁCS E., MARSELEK S.**

A biomassza energiacélú felhasználásának energetikai és gazdasági kritériumai

Energetic and economic requirements of reclamation of biomass for energy production

itakacs@karolyrobert.hu

Károly Róbert Főiskola, H-3400 Gyöngyös, Mátrai u. 36.

Kivonat

A biomassza energiacélú felhasználása nem új keletű. Korábban elsősorban termelési folyamatok melléktermékeként, vagy hulladékként képződő, illetve a természetben megtermelt anyagokat kerültek hasznosításra. A jelenkor problémáira adott válaszok egyikeként a biomassza tudatos, tömeges termelésével, illetve a termelési folyamatok melléktermékeinek tervezett, módszeres összegyűjtésével kerül megtermelésre az az energiaforrás, amely képes helyettesíteni a fosszilis energiahordozók egy részét. Ugyanakkor a biomassza előállítás során ugyanúgy felhasználásra kerülnek hagyományos energiahordozók (üzemanyagok, a termelőeszközök előállítása során felhasznált energia stb.), amelyek a nettó energiatermelés meghatározása során figyelembe veendő tényezők. A kutatás célja annak vizsgálata, hogy milyen módon optimalizálható az energetikai biomassza termelés-felhasználás ellátási lánc a folyamat energetikai, gazdasági kritériumrendszerében, illetve a folyamatokat menedzselő szervezeti modellek hogyan hatnak az ellátási lánc energetikai és gazdasági paramétereire, továbbá hogyan, milyen kritériumokkal argumentálható a természeti (környezeti), a gazdasági és a társadalmi fenntarthatóság, és azok hogyan valósulnak meg. A cikk bemutatja a vizsgálati modellt, elemzi a modellvizsgálatok eredményeit, a fenntarthatósági kritériumok teljesülésének feltételeit.

Abstract

Biomass-energy use is not a new idea. Earlier the by-products of the production processes or naturally grown materials were mainly used for energy production. One of the answers to the contemporary problems is the deliberate as well as mass production of the biomass, furthermore the planned and systematic collection of the by-products, which is the source of the energy being able to replace a part of the fossil fuels. At the same time during the production of biomass the conventional sources of energy are being used (fuels, the embodied energy which is used in the production of the equipment, etc.) which are to be taken into account in determining the net energy production. The research aims to examine how to optimize production and use of biomass energy supply chain process in the energetic and the economic criteria system, how to impact the managing models of the processes to the energetic and economic parameters of the supply chain, what kind of criteria and how these identify the natural (environmental), economic and social sustainability, and how they will be implemented. This article describes a test model, analyzes the results of the model examinations and the conditions for compliance with sustainability criteria.

Bevezetés

A biomassza energetikai célú felhasználásának kutatása sok évtizedre tekint vissza Magyarországon is. A kutatás az 1980-as években elsősorban a növénytermelés melléktermékeire fókuszált (lásd például Lehoczki, Takács 1981 és Lehoczki, Takács 1983, ahol a KTB-R szalma hengerbála tüzelő berendezés üzemi kísérleteinek ökonómiai értékelése került bemutatásra), majd 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 figyelme. Abban az időszakban a biomassza alapú alternatív energiaforrások használatának elterjedését nagymértékben lassította a fosszilis energiahordozók relatíve alacsony ára, és a biomassza alapú energiahordozók előállítására szolgáló technológiák relatíve alacsony energiamegtérülése. Napjainkra a fosszilis energiahordozók ára tartósan megemelkedett, nőtt a versenyképessége az alternatív energiaforrásoknak, melyhez az is hozzájárult, hogy a kutatók nézeteit egyre inkább

LIV.

GEORGIKON NAPOK

54th Georgikon Scientific Conference

elfogadták a különböző kormányok politikai vezetői, és akcióterveket dolgoztak ki a környezetterhelés csökkentésére. Felerősödött a fenntartható fejlődés iránti igény.

A fenntarthatóság összetett szempontrendszer felveti olyan multi-kritériumos döntési modellek alkalmazásának szükségességét, amelyek a kritériumok argumentálásával segítenek az optimális döntési alternatívák kiválasztásában. A projektek megvalósíthatóságának általános szempontrendszer szerint vizsgálni kell a műszaki, a pénzügyi, valamint a gazdasági megvalósíthatóságot egyaránt. A szempontok értékelése általában hierarchikus, azaz a műszaki megvalósíthatóság (létezik-e eszköz, megfelelő 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 megszerzhetőségének). A feltételrendszer elemei kölcsönösen hatnak egymásra is: a műszaki megvalósíthatóság teljesítése befolyásolja a projekt költségeket, a lehetséges bevételeket, a forrásösszetétel a forrásköltségeket, amelyek befolyásolják a megtérülést, ugyanakkor a megtérülés vizsgálata során feltárt gazdasági kockázatok kihatnak 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. Ugyanakkor szükség lehet olyan optimalizáló modellre is, amely a természeti fenntarthatóság argumentálására közvetlenül (például energia egyenleg (megtérülés) vagy az aggregált CO₂ kibocsátás), illetve közvetve (például a szállításból adódó környezeti terhelés minimalizálásával) alkalmas, továbbá a modell hatótényezőként kalkulál a társadalmi fenntarthatósággal a foglalkoztatást és a szervezeti struktúrák teljesítményt, eszközhatékonyságot, tőkelekötési igényt befolyásoló hatásaival (hány darab, milyen teljesítményű eszközzel oldják meg a feladatot).

A modell minden olyan optimalizálási probléma megoldására alkalmas, amelyben a térben elszórtan keletkező energetikai célra felhasználható biomassza

- szállítási körzetének lehatárolására,
- az erőmű optimális helyének kiválasztására,
- a modellt változatok 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.

Energiamegtérülés

Az optimalizálási modell dimenziói közül az energiamegtérülés kérdéssel foglalkozunk részletesebben. Az energiefelhasználást és a felhasznált energia megtérülését az anyagáram-modellek koncepciójának felhasználásával alakítottuk ki. Az anyagáram-modellek koncepcióját az alapanyag kitermelés/előállítás-feldolgozás-hasznosítás-anyagvesztések mérlegegyenletei írják le.

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 energetikai célú biomassza előállításra is érvényes az előbb hivatkozott elv, ugyanakkor a környezetből hasznosított energia mennyisége (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

LIV.

GEORGIKON NAPOK

54th Georgikon Scientific Conference

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. [White, Kulcinski 2000].

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

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 modern megközelítésmódja az energiahatékonyság mérésnek, melynek révén valós képet kapunk az egyes energia megtakarítást célzó megoldások hasznosságáról. A megközelítésmód Leontief input-output megtestesült energia elemzése (*Input-Output Embodied Energy analysis*) nevet viselő modellje, amely a neoklasszikus általános egyensúlyi elmélet adaptációja. [Leontief, 1966] (Lásd továbbá Wikipedia: Embodied energy, 2012.) A modell gyakorlati alkalmazásában/alkalmazhatóságában jelentős szerepe van azoknak a kutatásoknak, vizsgálatoknak, amelyek kísérletet tesznek a különböző anyagok, eszközök energia-egyenértékének meghatározásában. Ebben a University of Bath (UK) kutatóinak tevékenysége kiemelkedő, akik anyagfeleségekre részletekbe menően kidolgozták az egységnyi mennyiségben megtestesülő energiát és azok CO₂ egyenértékét is. [Hammond, Jones 2008] Egy gép, berendezés, épület vagy építmény energia-egyenértékének meghatározása összetett dolog. Becslések 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 utépítés 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 utépítés 10% részarányt képvisel az összesen 6.572 TJ energia-egyenértékből (megtestesülő energiából). [Treloar et al. 2004]

Ugyanakkor számolni kell azzal, hogy a műszaki fejlődés és fejlesztés hatására az egyes tevékenységek energiahatékonysága nő, amely a modellezés során alkalmazott normaértékek időről-időre történő felülvizsgálatának szükségességére hívja fel a figyelmet. [The NEED Project 2011]

A biomassza alapú energiatermelés externális költségeinek szóródása jelentős a különböző európai országokban (a jellemző értékek 1-2 euro cent, de vannak olyan országok, amelyben elérheti az 5-6 euro centet is). [A villamosenergia termelés externális költségei.... 2010] Ez felhívja a figyelmet a költségkomponens elemzésének fontosságára.

A biomasszára alapozott energiatermelés energiamegtérülési rátája 15-30-szoros, amely érték kedvező helyet foglal el az egyes erőművi technológiák összehasonlításában, ugyanakkor számolni kell azzal,

hogyan az aggregált CO₂ kibocsátás mutató viszonylag kedvezőtlen lehet, amit a magas GWP értékek jeleznek. [Lund, Biswas 2008] A GWP (Global Warming Potential = globális felmelegedési potenciált) 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.

A kutatás célja egy többtényezős, a fenntarthatósági kritériumok argumentálásával létrehozott értékelési modell megalkotása, amely támogatja a biomassza égetési cél felhasználására szolgáló égetőmű helyének kiválasztását, és annak az ellátási körzetének lehatárolását, a döntési alternatívák rangsorolását.

Anyag és módszer

Az OPTILOG© modell többtényezős összehasonlító módszer, amelyben a logisztikai költségek, az energiamegtérülés, a CO₂ terhelés és a gazdasági megtérülés egyidejűleg kerül értékelésre, s az optimumot az a változat adja, amelyben a tényezők legkiegyensúlyozottabbak.

Modellváltozatok:

A) Háromdimenziós OPTILOG© modell dimenziói:

1. Nettó szállítási (logisztikai) költség
2. Energiaegyenleg (EPR)
3. Beruházás nettó megtérülése (NPV)

B) Négydimenziós OPTILOG© modell dimenziói:

1. Nettó szállítási (logisztikai) költség
2. Energiaegyenleg (EPR)
3. Aggregált CO₂ kibocsátás
4. Beruházás nettó megtérülése (NPV)

Optimalizációs kritérium: a kritériumok standardizált értékei által kifesztett háromszög, illetve négyszög által lefedett terület a három-, illetve négydimenziós sugárdiagramon a maximum legyen.

Az optimalizáció lépései:

1. Alapadat táblázatok elkészítése
2. Alternatívák paraméterezése
3. A dimenzióváltozók értékeinek számítása alternatívánként
4. Eredményértékek standardizálása
5. OPTILOG© optimum-kritérium érték számítása
6. Eredmények értékelése

Dimenzióváltozók értékeinek számítása

1. dimenzió: *Szállítás-szervezési optimum*

Az optimalizálás a legkisebb szállítási távolság, illetve a legkisebb szállítási költségre történik a legkisebb négyzetek módszerének felhasználásával.

Optimális égetési centrum helyének meghatározása a legkisebb szállítási költség alapján, élettartam alatt egyetlen anyagáram esetén

Feltétel: eltérő fajlagos költségű beszállítási módok, lényegesen eltérő mennyiségekkel

$$C_j = \frac{\sqrt{\sum_{y=1}^Y \sum_{i=1}^n c_i^2 \cdot m_{i,y}^2 \cdot d_{i,j}^2}}{\sum_{y=1}^Y n}$$

ahol: C_j szállítási mennyiséggel és távolsággal súlyozott átlagos szállítási költség a forráshelyek és a j felhasználási hely között (Ft)

c_i i forráshelyen keletkező szállítandó mennyiség fajlagos szállítási költsége (Ft/tkm)

$m_{i,y}$ szállítási tömeg i forráshely és a j felhasználási hely között y . évben (t)

$d_{i,j}$ szállítási távolság i forráshely és a j felhasználási hely között (km)

n , a forráshelyek száma

k a potenciális felhasználási helyek száma

Optimum:

$$\min_{j \in [1,k]} C_j$$

Ha az égetőmű helye és a megtermelt energia felhasználási helye eltér, illetve több alternatíva lehetséges, akkor az optimalizálás a legkisebb input beszállítási költség + output továbbszállítási költség alapján történik. Feltétel: eltérő fajlagos költségű beszállítási módok, lényegesen eltérő mennyiségekkel, az előállított energia (hő, villamos energia) szállítási költségei a felhasználási helyre eltérő.

Optimum:

$$\min_{j \in [1,k]} (C_j + C_j^E)$$

ahol: C_j szállítási mennyiséggel és távolsággal súlyozott átlagos szállítási költség a forráshelyek és a j potenciális égetőmű között (Ft)

C_j^E j potenciális égetőmű és az energiafelhasználási hely, becsatlakozási pont közötti energia szállítási költsége (Ft/tkm)

k a forráshelyek száma

2. dimenzió: Energia megtérülés az Energy payback ratio (EPR) alapján

Az energiamegtérülés meghatározása a projekt élettartam 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 (megtettesült) felhasznált energia (az energialábnym nagyságának) becslése
 - 2.1. a teljes egészében a projekt céljait szolgáló beruházott eszközökben megtettesült energia becslése
 - 2.2. a projekt céljait csak részben szolgáló eszközökben megtettesült 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 üzemanyagok energiaértékének becslése
 - 2.5. a projekt működéséhez kapcsolódóan igénybevett infrastruktúra használatarányos energia egyenértéke

LIV.

GEORGIKON NAPOK

54th Georgikon Scientific Conference

- 2.6. a projekt üzemeltetéséhez szükséges munkaerő létfenntartó szükségletei biztosításának használatarányos energia egyenértéke
 2.7. a projekt élettartamának végén a megszüntetéséhez szükséges energia becslése

Projekt üzemeltetésével a projekt élettartama alatt létrehozható nettó energia becslése a tervezett energiatermelés alapján a következő összefüggéssel történik:

$$E_i^N = \sum_{y=1}^Y E_{i,y}^V + E_{i,y}^H + E_{i,y}^M$$

- ahol: $E_{i,y}^N$ az i projektalternatívával az élettartam alatt létrehozható nettó (hasznosítható) energia (J)
 $E_{i,y}^V$ az i projektalternatíva esetén értékesíthető villamos energia mennyisége y évben (J)
 $E_{i,y}^H$ az i projektalternatíva esetén értékesíthető hőenergia mennyisége y évben (J)
 $E_{i,y}^M$ i projektalternatíva esetén értékesíthető anyagokban megtestesülő energia mennyisége y évben (J)
 Y a projekt élettartama (év)

A projekt energialábnyomának (a megtestesült energiának) becslése

$$E_i^E = \sum_{y=1}^Y E_{i,y}^{E:P} + E_{i,y}^{E:S} + E_{i,y}^{E:I}$$

- ahol: $E_{i,y}^E$ i projektalternatívával az élettartam alatt felhasznált eszközökben megtestesülő összes energia (J)
 $E_{i,y}^{E:P}$ az i projektalternatíva esetén a teljesen a projekt céljaira használt eszközökben megtestesült energia y évben, számbavételére egy alkalommal, abban az évben kerül sor, amelyben a projekt céljaira történő használata elkezdődik (J)
 $E_{i,y}^{E:S}$ az i projektalternatíva esetén a projekt céljait csak részben szolgáló eszközök használatarányosan elszámolt megtestesült energia értéke y évben, számbavételre minden évben, az adott évi használat mértékével egyező módon kerül sor (J)

Üzemeltetés energia értéke

$$E_i^O = \sum_{y=1}^Y E_{i,y}^{O:A} + E_{i,y}^{O:L}$$

- ahol: E_i^O az i projektalternatívával az élettartam alatt felhasznált összes üzemeltetési energia egyenérték, a felhasznált anyagok és energiahordozók mennyiségével arányos energialábnyom (megtestesült energia) értékével egyezően (J)
 $E_{i,y}^{O:A}$ az i projektalternatívával y évben az üzemeltetés során felhasznált anyag és energiahordozó energia egyenértéke, számbavételére évente kerül sor, a felhasznált anyagok és energiahordozók mennyiségével arányos energialábnyom (megtestesült energia) értékével egyezően (J)

Projekt előtti állapot visszaállítás, megsemmisítés energia egyenértéke

A projekt előtti állapot visszaállítás energia egyenértéke becsléssel kerül megállapításra, a projekt létesítményeiben megtestesülő energia 10-30%-a.

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

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)

3. dimenzió: Élettartam alatt képződő jövedelem jelenértéke

Az élettartam (Y) alatt képződő jövedelem számításának menete:

3. a projekt teljes élettartama alatti cash-flow becslése
 - 3.1. beruházások ütemezése, beruházási költségek becslése változatlan áron (a projekt élettartama (Y év) alatt szükség lehet a logisztikai eszközök és egyes technológiai berendezések pótló beszerzésére)
 - 3.2. működési költségek becslése változatlan áron
 - 3.3. működés éveiben realizált bevételek becslése változatlan áron
 - 3.4. élettartam végén az eszközök maradványértékének becslése
 - 3.5. élettartam végén a megsemmisítés, eredeti állapot visszaállítás költségeinek becslése
4. az alternatív kamatláb becslése
5. nettó jelenérték számítása

A cash-flow elemeinek és az NPV mutatónak a számítása a szakirodalomban részletesen megtalálható, terjedelmi okokból a részletek ismertetésétől eltekintünk.

4. dimenzió: Aggregált CO_2 kibocsátás számítása

Az aggregált CO_2 kibocsátás meghatározása – hasonlóan a 2. és 3. dimenzió esetén alkalmazottakkal – a projekt életciklus elemzésével történik, az élettartam (Y) alatt képződő vagy közvetve felhasznált eszközökben, anyagokban megtestesülő CO_2 egyenérték meghatározásával, amelyek számításának menete analóg a megtestesült energia (embodied energy) meghatározásával, terjedelmi okokból nem részletezzük.

A modell optimumának meghatározása

A pillérek standardizált modellértékek által lefedett terület minimuma. A tengelyek sorrendje három dimenzió esetén tetszőleges, négy dimenzió esetén kötött: az óramutató járásával megegyező irányban (1) a standardizált logisztikai költségek, (2) az energiamegtérülés, (3) az aggregált CO_2 kibocsátás, (4) az élettartam alatti jövedelem mutatója.

A mutatóértékek szakmai értelemben akkor előnyösek, ha a költség ($LC \equiv C$) minél alacsonyabb, az EPR minél magasabb, az aggregált CO_2 kibocsátás minél alacsonyabb, valamint a jövedelem (NPV) minél magasabb.

Optimum: a kritériumok standardizált értékei által határolt (kifeszített) terület maximum legyen. A sokszög területének számítása az azt alkotó háromszögek területének felhasználásával történik.

LIV.

GEORGIKON NAPOK

54th Georgikon Scientific Conference

Mivel a standardizált értékek negatív értéket is felvehetnek, a közös csúcspontban a legkisebb standardizált érték van, így a háromszög oldalhossza (D) a következő:

A logisztikai költségek esetén:

$$D_j^{LC} = (-SD_j^{LC} - \min(-SD_j^{LC}))$$

A logisztikai költségek minél kisebbek, annál kedvezőbbek, így (-1) -gyel történt szorzással azonos értékelési dimenzióba kerül transzformálásra.

Az energiamegtérülés esetén:

$$D_j^{EPR} = (SD_j^{EPR} - \min(SD_j^{EPR}))$$

Az aggregált CO_2 kibocsátás mutatója esetén:

$$D_j^{CO_2} = (-SD_j^{CO_2} - \min(-SD_j^{CO_2}))$$

Az aggregált CO_2 kibocsátás minél kisebb, annál kedvezőbb, így (-1) -gyel történt szorzással azonos értékelési dimenzióba kerül transzformálásra.

A beruházás megtérülés esetén:

$$D_j^{NPV} = (SD_j^{NPV} - \min(SD_j^{NPV}))$$

- ahol: D_j^{LC} alternatíva projekt élettartam alatti logisztikai költségeinek transzformált standardizált értéke (-)
 SD_j^{LC} alternatíva projekt élettartam alatti logisztikai költségeinek standardizált értéke (-)
 D_j^{EPR} alternatíva projekt élettartam alatti energetikai megtérülési mutatójának transzformált standardizált értéke (-)
 SD_j^{EPR} alternatíva projekt élettartam alatti energetikai megtérülési mutatójának standardizált értéke (-)
 $D_j^{CO_2}$ alternatíva projekt élettartam alatti aggregált CO_2 kibocsátás mutatójának transzformált standardizált értéke (-)
 $SD_j^{CO_2}$ alternatíva projekt élettartam alatti aggregált CO_2 kibocsátás mutatójának standardizált értéke (-)
 D_j^{NPV} alternatíva projekt élettartam alatti nettó jelenértékkel mért jövedelemtermelésének transzformált standardizált értéke (-)
 SD_j^{NPV} alternatíva projekt élettartam alatti nettó jelenértékkel mért jövedelemtermelésének standardizált értéke (-)

Az értékekkel kijelölt terület nagysága három dimenzió esetén:

$$T_j = \frac{\sqrt{3}}{4} (D_j^{LC} \cdot D_j^{EPR} + D_j^{NPV} \cdot D_j^{EPR} + D_j^{LC} \cdot D_j^{NPV})$$

Az értékekkel kijelölt terület nagysága négy dimenzió esetén:

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

ahol: T_j standardizált kritériumértékek által lefedett terület (-)

Optimum:

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

ahol: T_j standardizált kritériumértékek által lefedett terület (-)

Eredmények

A modell tesztelésre 5 lehetséges forgatókönyv (1. táblázat) került felvázolásra, amelyeket szakértői becsléseken alapuló input adatok segítségével értékeltünk.

1. táblázat Szcenáriók általános jellemzői

Szcenárió jele	Alapanyag beszállítási körzet jellemzői	Eszközpark jellemzői	Szervezeti jellemzők
A	A begyűjtési körzet lefedi a modellezett földrajzi egységet képező térséget, úthálózat sűrűség kiegyenlített.	Korszerű eszközpark átlagos kihasználással.	Eseti együttműködés, nem koordinált döntéshozatal
B	A begyűjtési körzet túlnyúlik a modellezett földrajzi egységet képező térségen, kedvező úthálózat sűrűség.	Korszerű eszközpark átlag feletti kihasználással.	Kooperáló résztvevők, koordinált döntéshozatali mechanizmusok
C	A begyűjtési körzet kisebb a modellezett földrajzi egységet képező térségnél, kiegyenlített úthálózat sűrűség.	Kis teljesítményű eszközökre alapozott eszközpark átlag alatti kihasználással, jelentős kapacitásfelesleggel.	Nem együttműködő résztvevők, alacsony eszközteljesítmények, nem koordinált döntéshozatal
D	A begyűjtési körzet kisebb a modellezett földrajzi egységet képező térségnél, kiegyenlített úthálózat sűrűség.	Korszerű, nagy teljesítményű eszközpark átlag alatti kihasználással, kapacitásfelesleggel.	Nem együttműködő résztvevők, alacsony eszközteljesítmények, nem koordinált döntéshozatal
E	A begyűjtési körzet túlnyúlik a modellezett földrajzi egységet képező térségen, kedvező úthálózat sűrűség.	Korszerűtlen, kis teljesítményű eszközökre alapozott eszközpark átlag feletti kihasználással, átlag feletti környezeti terheléssel.	Kooperáló résztvevők, koordinált döntéshozatali mechanizmusok

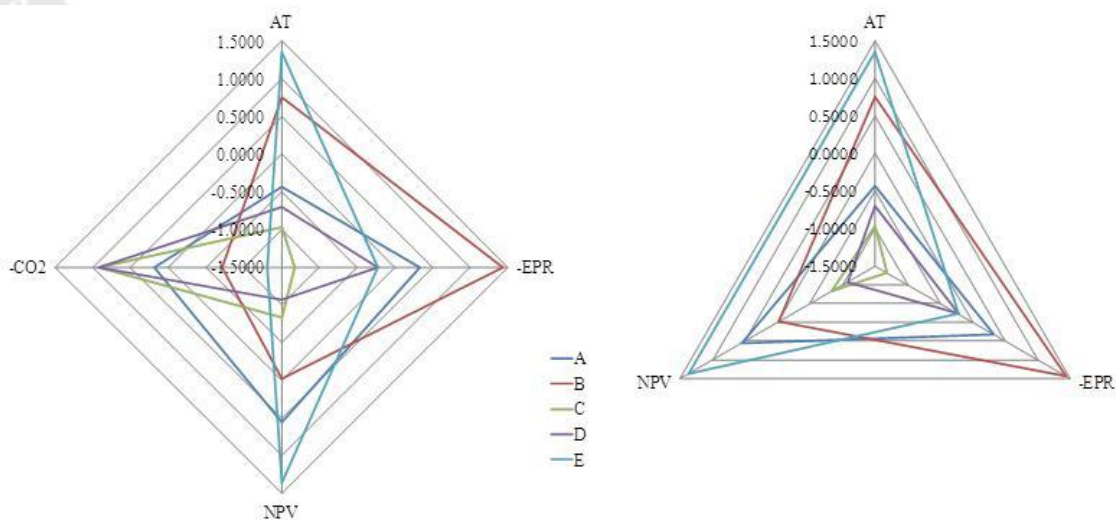
Forrás: saját szerkesztés

A szcenáriók kritériumértékeinek standardizálása és a három és négy dimenziós OPTILOG© mutató számítása után (2. táblázat, 1. ábra) a kapott mutatóértékek alkalmasak voltak az alternatívák rangsorolására. Az aggregált CO₂ kibocsátás elhagyása a kritériumok közül az adott esetben a rangsorok elejét átrendezte, ugyanakkor a legkedvezőtlenebb szcenáriók kiejtésére a háromdimenziós vizsgálat is megfelelő információt ad. Ennek következménye, hogy csökkenthetők az előkészítő munkálatok egy kétlépcsős vizsgálat, amely áll egy előválogatásból, és csak a leszűkített alternatíva körre történik meg a negyedik dimenzió értékeinek kimunkálása.

2. táblázat Szcenáriók összehasonlítása az OPTILOG© mutató alkalmazásával

Szcenárió	Kritériumváltozók standardizált értékei				OPTILOG© mutató		Sorrend	
	SD _{ÁT}	-SD _{EPR}	SD _{NPV}	-SD _{CO2}	4D	3D	4D	3D
A	-0.4310	0.3303	0.5521	0.1795	3.4030	1.9253	2	3
B	0.7543	1.4313	-0.0162	-0.7179	4.6567	4.1007	1	2
C	-0.9698	-1.3212	-0.8281	0.9273	0.2732	0.0000	5	5
D	-0.7004	-0.2202	-1.0717	0.9273	0.4505	0.1284	4	4
E	1.3469	-0.2202	1.3640	-1.3162	2.6161	4.7091	3	1

Forrás: saját szerkesztés



1. ábra A kritériumváltozók által „kijeszített” sokszög területek három és négydimenziós sugárdiagramokon
 Forrás: saját szerkesztés

Következtetések, javaslatok

A gazdasági-társadalmi folyamatok összetettsége igényli a komplex megközelítésmódot az értékelési folyamatok során. A környezeti-gazdasági-társadalmi fenntarthatóság argumentálása az értékelési modellek kritériumai között nem minden esetben lehetséges közvetlen indikátorok segítségével, ezért a folyamatok lényegi összefüggéseinek figyelembevételével lehet és kell megválasztani azokat a mutatókat, amelyek alkalmasak az észlelések számszaki kifejezésére, leírására vagy becslésére.

A kutatás középpontjában a biomassza energetikai célú hasznosítása volt, amely egyrészt hasznosítható energiát hoz létre, ugyanakkor a folyamat megvalósítása közvetlenül vagy közvetve energiát emészt fel (lásd a megtettesült 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 megtettesült 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.

Köszönetnyilvánítás

A kutatás a TÁMOP-4.2.1.-09/1-2009-0001, az „OPTILOG szervezeti modell az energetikai központok optimális kiszolgálására” című kutatási program támogatásával készült.

Forrásjegyzék

- A VILLAMOSENERGIA TERMELÉS EXTERNÁLIS KÖLTSÉGEI, KÜLÖNÖS TEKINTETTEL A MEGÚJULÓ ENERGIAFORRÁSOKRA. ELEMZŐ TANULMÁNY. V2.0. (2010) Készült a MEH részére. Budapest, 2010. április. Power Consult Szolgáltató Kft. 163. p. Online: http://www.eb.gov.hu/gcpdocs/201006/meh_externalia_powervconsult.pdf. Letöltés: 2012.06.16.
- HAMMOND, G P, JONES, C I (2008) Inventory of Carbon and Energy (ICE). University of Bath. 62 p. Online: <http://perigordvacance.typepad.com/files/inventoryofcarbonandenergy.pdf>. Letöltés: 2012.06.16.
- LEHOCZKY M., TAKÁCS I. (1981) A melléktermék felhasználás műszaki fejlesztésének lehetősége és gazdaságosságának összefüggése. Kutatási jelentés. Gödöllő, MÉM Műszaki Intézet, 1981. 24 p. (12.396)
- LEHOCZKY M., TAKÁCS I. (1983) Növénytermesztési melléktermékek hasznosításának ökonómiai értékelése. In: *MTA-MÉM Agrár-Műszaki Bizottság Kutatási Tanácskozás*. Gödöllő, 1983. január 18-19.
- LEONTIEF, W. (1966) Input-Output Economics. *Oxford University Press*. New York. p. 134
- LUND C, BISWAS W (2008) A Review of the Application of Lifecycle Analysis to Renewable Energy Systems. *Bulletin of Science Technology Society*. 28. pp. 200-209.
- THE NEED PROJECT. (2011) Efficiency conservation. Energy consumption. Online: http://www.need.org/needpdf/infobook_activities/IntInfo/ConsI.pdf. Letöltés: 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. Online: <http://www.inference.phy.cam.ac.uk/sustainable/refs/lca/Treloar.pdf>. Letöltés: 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. pp. 473-481.
- WIKIPEDIA: EMBODIED ENERGY (2012) http://en.wikipedia.org/wiki/Embodied_energy. Letöltés: 2012.06.16.

LIV. GEORGIKON NAPOK

54th Georgikon Scientific Conference