

DOKTORI (PhD) ÉRTEKEZÉS

Dombi Mihály

Debrecen
2013

**DEBRECENI EGYETEM
AGRÁR- ÉS GAZDÁLKODÁSTUDOMÁNYOK CENTRUMA
GAZDÁLKODÁSTUDOMÁNYI ÉS VIDÉKFEJLESZTÉSI KAR
GAZDASÁGELMÉLETI INTÉZET**

**IHRIG KÁROLY GAZDÁLKODÁS- ÉS SZERVEZÉSTUDOMÁNYOK
DOKTORI ISKOLA**

Doktori iskola vezető: Prof. Dr. Popp József, DSc

**Villamos és hőenergia előállítását szolgáló megújuló
energetikai technológiák fenntarthatósági értékelése**

Készítette:

Dombi Mihály

Témavezető:

Kuti István

CSc, egyetemi docens

**DEBRECEN
2013**

VILLAMOS ÉS HŐENERGIA ELŐÁLLÍTÁSÁT SZOLGÁLÓ MEGÚJULÓ ENERGETIKAI TECHNOLOGIÁK FENNTARTHATÓSÁGI ÉRTÉKELÉSE

Értekezés a doktori (PhD) fokozat megszerzése érdekében
a Gazdálkodás- és szervezéstudományok tudományágban

Írta: **Dombi Mihály** okleveles vidékfejlesztő agrármérnök

A doktori szigorlati bizottság:

	név	tud. fok.
elnök:	Nábrádi András	CSc
tagok:	Marjainé Szerényi Zsuzsanna.....	PhD
	Szász Tibor.....	CSc

A doktori szigorlat időpontja: 2013. 10. 11.

Az értekezés bírálói:

	név, tud. fok	aláírás
.....		
.....		

A bíráló bizottság:

	név, tud. fok	aláírás
elnök:		
titkár:		
tagok:		
		
		
		
		

Az értekezés védésének időpontja: 201..

TARTALOMJEGYZÉK

BEVEZETÉS	4
1. A MEGÚJULÓ ENERGIAFORRÁSOK JELLEMZŐI – TÉMAFELVETÉS.....	8
1.1. A világ és Magyarország energiagazdálkodásának főbb jellemzői.....	8
1.2. A megújuló energiaforrások hasznosításának technológiái.....	14
1.3. A megújuló energiaforrások hasznosítását célzó technológiák fenntarthatósági értékelésének elméleti és gyakorlati jelentősége	24
2. HIPOTÉZISEK	33
3. . A MEGÚJULÓ ENERGIAFORRÁSOK ÉRTÉKELÉSE, ÖSSZEHASONLÍTÁSA A SZAKIRODALOMBAN	35
3.1. A fenntarthatósági értékelés módszerei	35
3.2. Fenntarthatósági értékelés a megújuló energiaforrások hasznosítása terén	43
3.3. A fenntarthatósági értékelés kulcskérdései.....	59
4. A FENNTARTHATÓSÁGI ÉRTÉKELÉS MÓDSZERE	61
4.1. A módszer bemutatása	61
4.2. Az értékelés alapjai: fenntarthatósági jellemzők	63
4.2.1. A káros környezeti hatások értékelése.....	66
4.3. A feltételes választás módszere	81
4.4. A feltételes választás módszere az energiagazdálkodási fenntarthatósági értékelésekben	84
4.5. A szakértői felmérés	89
4.6. A technológiai értékelés módszere	92
4.7. A fenntarthatósági értékek érzékenységvizsgálata rugalmasság-elemzéssel	93
4.8. A projektszintű értékelés kerete	96
5. EREDMÉNYEK	98
5.1. A szakértői felmérés jellemzői	98
5.2. A fenntarthatósági jellemzők súlyai szakértői felmérés alapján	100
5.3. Technológia-szintű fenntarthatósági értékelés	105
5.4. A globális villamos energia rangsor alakulása a 2030-ig várható technológiai fejlődés hatására	115
5.5. A fenntarthatósági rangsor alakulása a gazdasági-technikai környezet változásának hatására	118
5.6. Optimális energiamix a fenntarthatósági értékelés és a hazai megújuló energia- potenciál alapján	121
5.7. Példa a projektértékelés módszerére (Miskolc).....	127
6. KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK.....	132
7. AZ ÉRTEKEZÉS ÚJ, ILLETVE ÚJSZERŰ EREDMÉNYEI.....	136
ÖSSZEFOGLALÁS	138
SUMMARY	140
IRODALOMJEGYZÉK	142
A DOLGOZAT TÉMÁJÁHOZ KAPCSOLÓDÓ SAJÁT PUBLIKÁCIÓK JEGYZÉKE	159
TOVÁBBI SAJÁT PUBLIKÁCIÓK JEGYZÉKE.....	162
KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS	163
TÁBLÁZATJEGYZÉK.....	164
ÁBRAJEGYZÉK.....	165
MELLÉKELETEK	166

BEVEZETÉS

Korunk globális ökológiai problémái terén mára elértük azt a határt, amelyen belül már kétséges, hogy biztosítható-e hosszú távon az emberi civilizáció fennmaradása. A globális ökológiai rendszer és benne az emberiség nemzedékeken átívelő módon csak akkor maradhat fent, ha figyelembe vesszük a természet globális életfenntartó rendszereinek korlátait, a társadalom és a gazdaság mechanizmusait ehhez igazítjuk. Ez a fenntartható fejlődés követelménye.

A fenntartható fejlődés koncepciójának kialakulását követően számos különböző közelítés született annak értelmezésére. Ismert a Brutland-féle definíció, mely a generációk jogfolytonosságát hangsúlyozza; valamint a gyenge, ill. erős fenntarthatóság koncepciói, melyek a természeti és ember alkotta tőkeelemek helyettesíthetőségi arányára összpontosít (KEREKES, 2006; MÁLOVICS – BAJMÓCZY, 2009). A fenntarthatóság háromdimenziós megközelítése, tehát a harmonikus környezeti, társadalmi és gazdasági fejlődés a legtöbb szereplő számára elfogadható (KARCAGI-KOVÁTS, 2011), ezért – káros egyszerűsítő jellege ellenére – igen gyorsan adaptálódott a köztudatba (GÁTHY et al., 2006b). A fenntarthatóság meghatározásának sokrétűsége számtalan értelmezésre ad lehetőséget tudományos, ideológiai vagy akár politikai szempontból.

Disszertációmmal nem kívánok a fenntartható fejlődés értelmezése körüli permanens tudományos vitákba bekapcsolódni. A fenntartható rendszerek inverzeinek, a „fenntarthatatlan rendszerek” alapvető jellemzői széles körben ismertek, sőt a kialakult globális ökológiai válságszituáció megoldásának fő lépései is világosak: megújuló erőforrásokra alapozott termelés, zárt termelési ciklusok, irracionális szükségletek kiküszöbölése, népesség-növekedés globális mérséklése (LÁNG – KERÉKES, 2013). Ezek alapján úgy gondolom, hogy még ha a fenntarthatóság definíciója nem is világos teljesen, a koncepció lényege egyértelmű: világunk ökológiai, társadalmi és gazdasági alrendszereinek harmonikusan, a hosszú távú fennmaradás kívánalmainak mindent alárendelve kell fejlődnie.

A fenntarthatóságot disszertációmban alapvetően a háromdimenziós modellre támaszkodva értelmezem az energiagazdálkodás területén, a megújuló energiaforrásokra alapozott technológiák értékelése során. Azért döntöttem a háromdimenziós modell elfogadása mellett, mert kizárólag a megújuló energiaforrásokat hasznosító technológiákat egymással összehasonlítva egyik esetben sem áll fent a természeti tőke olyan aránytalan károsulása, ami a fosszilis energiahordozók hasznosítására jellemző. Ezen kívül ez a modell politikai szempontból könnyebben elfogadható.

A globális ökológiai problémák között igen nagy, egyesek szerint kiemelkedő jelentőségű a klímaváltozás jelensége, amelyért az energetikai folyamatok mintegy 80%-ban tehetőek felelőssé (PÁLVÖLGYI, 2000). A szektor gyökeres átalakítása éppen ezért elkerülhetetlen. Energiarendszerünk jelenleg fenntarthatatlan a gazdasági, illetve népességnövekedésen alapuló és az egyes társadalmakban irracionális energiaigények, valamint az energiaforrások készleteinek rövid- illetve hosszú távú bizonytalansága miatt. Ez a bizonytalanság a készletek gyors csökkenéséből, illetve az ehhez kapcsolódó gazdasági és politikai konfliktusokból adódik. A fogyasztás ésszerűsítését, a takarékosagra való törekvést, az energiahatékonyság növelését, valamint az energetikai struktúra átalakítását párhuzamosan kell célul kitűzni.

Tudásunk mai szintje alapján a fenti követelmények biztosítására, azaz a fenntartható energiaszerkezet kialakítására kizárólag a megújuló energiaforrások kínálnak megfelelő megoldást, ezért ezek szerepét az energiarendszerben jelentősen növelnünk kell. Disszertációmban bemutatom, hogy ezen az úton az energia-, a fejlesztés- és a környezetpolitika egysége elsődleges fontosságú, és elengedhetetlen az interdiszciplináris megközelítés erősítése a szakpolitikák összhangja érdekében.

Kutatásom során azt tárom fel, hogy a fenntartható energiaszerkezet felé történő elmozdulás és átmenet szempontjából mely megújuló energiaforrásokra alapozott technológiák a legelőnyösebbek. A kutatás elsődleges eredménye tehát a technológiák fenntarthatósági szempontból kialakuló relatív rangsora és az ebből levezethető további eredmények több környezet- és fejlesztéspolitikai területen is hasznosíthatóak. Stratégiai szempontból nagy jelentőséggel bír az optimális megújuló energiakeverék felvázolása, mely segítségével az aktuális technológiai körülmények által adott környezetben, fenntarthatósági szempontból idealizálható állapot modellezhető.

A kutatás során számos megújuló energetikai technológiát hasonlítottam össze egy bizonyos fenntarthatósági jellemző-rendszerben, a jellemzőkkel kapcsolatos szakértői preferenciákat érvényesítve. Ezt a fenntarthatósági jellemző-rendszert a fenntarthatóság három dimenziójának energiagazdálkodási vetületeként értelmeztem.

Feltételezem, hogy a megújuló energiaforrásokra alapozott technológiák többsége megfelel – bizonyos mértékben – a fenntarthatóság valamely kritériumrendszerének. A megfelelő fejlesztés- és támogatáspolitikai főbb irányvonalának meghatározásához azonban szükség van e technológiák fenntarthatósági értékelésére, a fenntarthatóság fő szempontjai szerinti összehasonlításra, amely fontos információkat hordoz abban a tekintetben, hogy az adott technológia milyen mértékben segíti elő a fenntartható energiaszerkezet kialakítását. E vizsgálatok megalapozhatják egyes támogatási rendszerek kialakítását (például a villamos- és hőenergia piacán), segítséget nyújthatnak hosszú távú stratégiák és tervek kialakításához, illetve azok ex ante vizsgálatához, valamint alkalmasak projektek egyedi értékelésére, így a beruházási támogatások kialakításának, elbírálásának és monitorozásának szakaszában is hasznosíthatók.

A dolgozat szerkezete, logikai váza a következő. A fenntarthatósági összehasonlítások, értékelések jelentőségének bemutatása előtt lehatárolom a hazánkban gyakorlati szempontból jelentős megújuló energiaforrások hasznosítására alapozott technológiai típusokat (**1.2. alfejezet**). Erre alapozva fogalmazom meg a kutatással kapcsolatos hipotéziseimet (**2. fejezet**), ezt követően pedig a fenntarthatósági értékelés különböző módszertani lehetőségeit tárom fel, először általános megközelítéssel (**3.1. alfejezet**), majd az energiagazdálkodás területén (**3.2. alfejezet**), bemutatva a releváns nemzetközi és hazai szakirodalmat.

A korábbi értékelési módszerek gyengeségeit és hiányosságait (**3.3. alfejezet**) kiküszöbölendő kialakítottam és bemutatok egy olyan értékelési keretet, amely biztosítja a fenntarthatóság szempontjából elengedhetetlen komplex, környezeti, társadalmi és gazdasági tényezőket egyaránt figyelembe vevő szemléletet, ugyanakkor csökkenti a vizsgálat szubjektivitását (**4. fejezet**).

Részletesen foglalkozom a feltételes választás (Choice Experiment, CE) módszerével **(4.3. alfejezet)**, amely lehetővé teszi a fenntarthatóság jellemzőinek súlyozását a szakértők preferenciái alapján; ezután pedig az értékelés további lépéseit mutatom be. A megújuló energiaforrásokra alapozott technológiák értékelése több szinten is elvégezhető: ezek közül a globális és hazai technológiaértékelést, valamint a projektszintű összehasonlítás lehetőségeit vázoló **(4.6-8. alfejezetek)**.

Az eredményeket bemutató fejezetben elsőként a fenntarthatósági jellemzők súlyait feltáró, feltételes választás módszerével készült szakértői felmérésem eredményeiről számolok be **(5.1. alfejezet)**. E kutatási lépés jelentősége a szakértői preferenciák viszonyának feltárásában rejlik a megújuló energiaforrások fenntarthatósági jellemzőit illetően. A technológiák gazdasági-műszaki paramétereit e preferenciákkal korrigálva kapjuk a fenntarthatósági értékelés „nyers” eredményét, a technológiák relatív fenntarthatósági sorrendjét **(5.3. alfejezet)**. Ez már alapvető információkat szolgáltat a megújuló energiaforrásokat érintő gazdálkodási, tervezési és szakigazgatási döntésekhez.

Az eredmények további kiértékelése során egyéb hasznos összefüggések feltárására kerülhetett sor. A fejezet további részében először a fenntarthatósági jellemzők és más tényezők szerinti érzékenységvizsgálatot mutatom be **(5.5. alfejezet)**. Ezután a különböző megújuló energiaforrások hazai potenciálját a fenntarthatósági rangsorral szembeállítva Magyarország fenntarthatósági szempontból optimális megújuló energiakeverékét vázoló **(5.6. alfejezet)**. Végül egy esettanulmány segítségével mutatom be a projektszintű összehasonlításban rejlő lehetőségeket **(5.7. alfejezet)**. Disszertációm végén következtetéseket vonok le és javaslatokat teszek az elért eredmények alapján. Sor kerül a hipotézisek tételes elbírálására is **(6. fejezet)**.

Az eredmények ismeretében a hazai környezet- és fejlesztéspolitika számára szeretnék hasznosítható javaslatokat tenni, de bízom abban, hogy munkám a tudományos érdeklődésen felül bármely érdekelt számára hasznos lehet a jövőben — akár beruházók, önkormányzatok és más piaci szereplők számára is.

1. A MEGÚJULÓ ENERGIAFORRÁSOK JELLEMZŐI — TÉMAFELVETÉS

A megújuló energiaforrások hasznosítása egy igen összetett rendszer része, amelyben az emberiség tagjai mára alapvetővé vált energiaigényeiket fedezik. Jelen fejezetben röviden felvázolom a globális, az európai és a magyar rendszer főbb jellemzőit, a területi korlátok miatt csak azok leglényegesebb elemeit kiemelve. Ezek után bemutatom a disszertációban később vizsgált technológiákat, majd az összehasonlítás és értékelés jelentőségére térek ki.

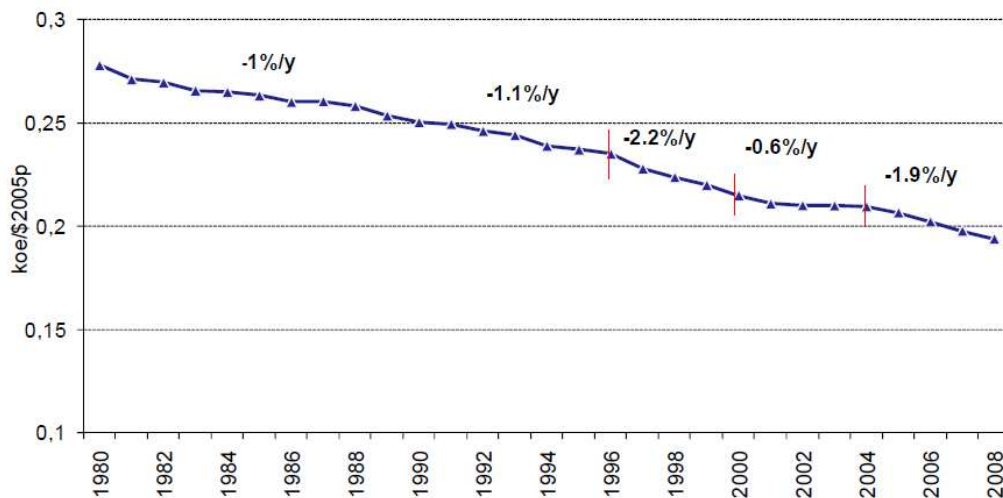
1.1. A világ és Magyarország energiagazdálkodásának főbb jellemzői

Az emberiség az elmúlt évszázadokban a népesség, a fogyasztás, a termelés és a technológiai fejlődés gyorsuló üteme mellett egyre több és több energiát igényelt. A civilizált ember élete a ma használatos energiahordozók (kőolajszármazékok, villamos energia, földgáz) nélkül már elképzelhetetlen, mint ahogyan az általa fogyasztott termékek energiatartalma is igen jelentős.

A globális energiafelhasználás 1973 és 2010 között 256 EJ-ről 532 EJ-ra nőtt (IEA, 2012). Mindeközben az energiatenzitás – tehát az egységnyi jövedelem előállításához szükséges energiamennyiség – folyamatosan csökkent (**1. ábra**). A csökkenés régióként eltérő mértékben következett be. A rendszerváltó államokban a XX. század végén a hatékonyság növekedése (az intenzitás csökkenése) elérte az évi 3%-ot (WEC, 2010).

Az energia felhasználását tekintve az ipar energiaigénye az 1973 és 2010 között másfélszeresére nőtt, a legnagyobb keresletnövekedés (119%) azonban a közlekedés terén figyelhető meg. Az összes felhasználás arányában jelentősen nőtt ez utóbbinak az aránya, 45,4%-ról 61,4%-ra, miközben az ipar és az egyéb felhasználás – többek között a lakossági – részesedése csökkent (19,9%-ról 9%-ra, illetve 23,1%-ról 12,4%-ra) (IEA, 2012).

**1. ábra: Az energia-intenzitás változásának globális trendje;
energiamennyiség/GDP (koe/US\$2005p)**



Forrás: WEC, 2010

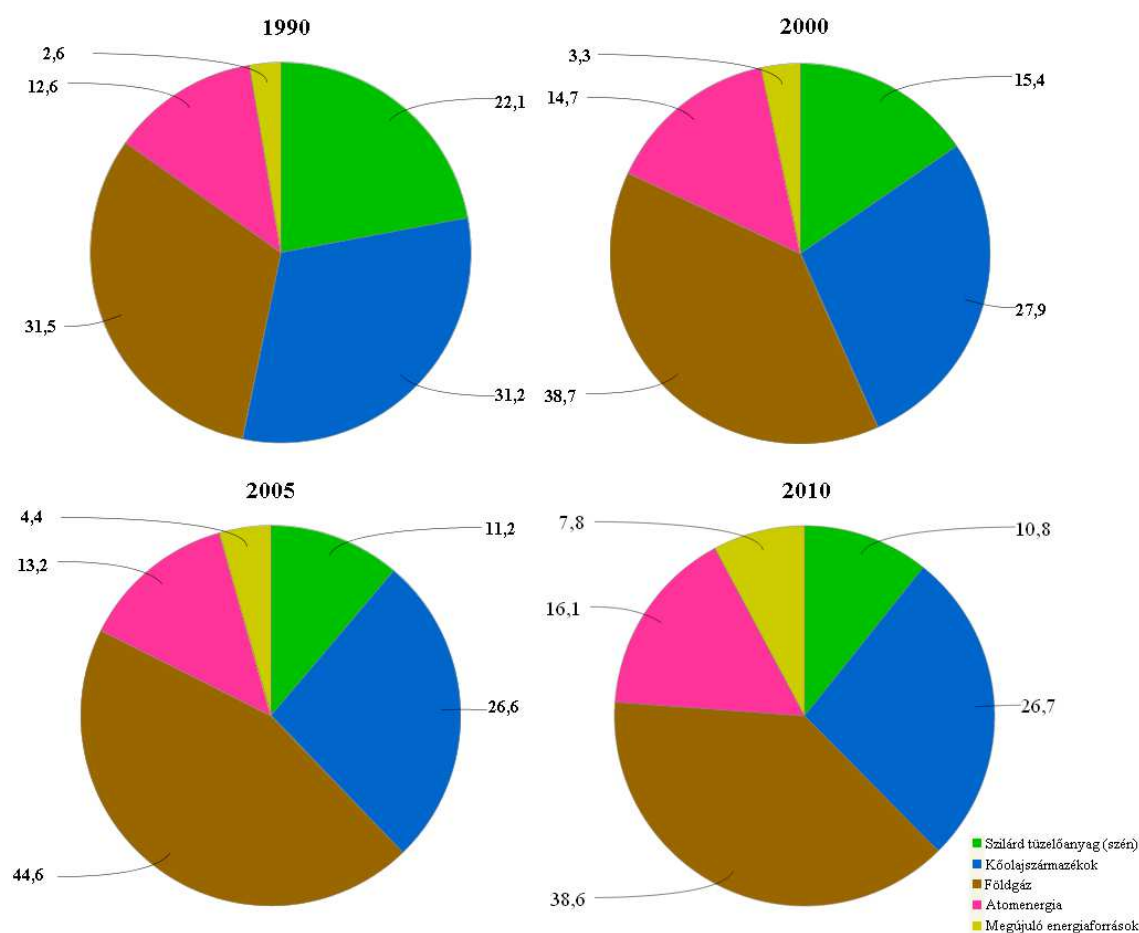
Az Európai Unió 27 tagállamában a primer energiatermelés 1990-ben 65,4 EJ, tíz évvel később pedig 67,3 EJ volt. A következő tíz évben további növekedés volt regisztrálható: 2010-ben az energiatermelés mértéke 68,9 EJ-ra emelkedett (EUROSTAT, 2012). Ugyanezen időszak alatt az energaintenzitás (koe / 1000 EUR) viszont jelentősen csökkent: 304-ről 171, végül 152 kilogramm kőolaj-egyenértékre. Hazánk energaintenzitása szintén csökkenő tendenciát mutat: 2000-ben még 349, míg 2012-ben már csak 295,5 kilogramm olajjal egyenértékű energia segítségével állítottunk elő 1000 € értékű bruttó hazai terméket (EUROSTAT, 2013a).

Magyarország primer energiafelhasználása a rendszerváltás után jelentősen csökkent, majd 1050-1100 PJ között állandósult. Ez az EU energiaigényének kb. másfél százaléka. 2004 után a felhasználás növekedésnek indult, de a 2008-ban kezdődő gazdasági válság hatására ismételten 1100 PJ alá esett. A végső energiafelhasználás 1995 és 2010 között 700 PJ körül alakult.

Energiaforrások tekintetében a hazai energiaszerkezetben még mindig a fosszilis energiahordozók magas aránya a meghatározó. A **2. ábrán** Magyarország primer energiafelhasználása figyelhető meg. Az atomenergia viszonylag magas aránya klímavédelmi szempontokból előnyös a hazai energiamix szempontjából. A megújuló energiaforrások arányának növekedése még mindig meglehetősen lassú, a szabályozási

környezet bizonytalansága hátráltatja a beruházásokat. Az elmúlt időszakban a szénfelhasználás csökkenő, míg a földgáz és a megújuló energiaforrások használata növekvő tendenciát mutat.

2. ábra: Magyarország primer energiafelhasználásának megoszlása energiahordozók szerint; %



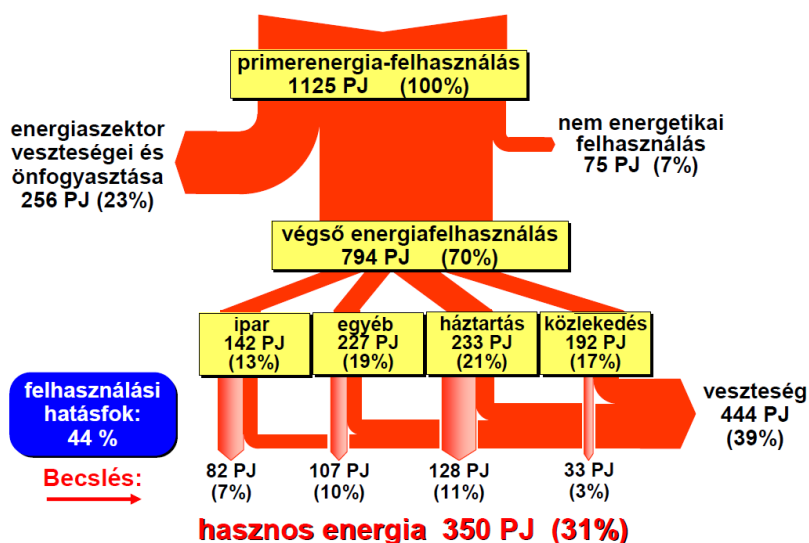
Forrás: EUROSTAT, 2013b

A végső felhasználás szerkezetét tekintve hazánkban az *ipari* felhasználás a kilencvenes évek közepéhez képest mintegy kétharmadára esett vissza, míg a *közlekedés* által támasztott kereslet több, mint másfélszeresére nőtt. A *szolgáltatások*, a *lakosság* és a *mezőgazdaság* energiaigénye kismértékben csökkent. 2010-ben a végső felhasználás aránya a szektorok említési sorrendjében a következő volt: 17,2%; 26,7%; 18,7%; 34,4% illetve 3% (KSH, 2013). A szolgáltatások viszonylag alacsony energiaigénye és ezzel szemben magas GDP-részesedése rámutat a gazdaság energiahatékonyságának jelentőségére.

Magyarország 2007. évi energiaszfolyam-ábrája (**3. ábra**) alapján elmondható, hogy a legnagyobb veszteségek az energiaszfektorban (átalakítási és szállítási veszteség) figyelhetők meg, ami – különösen villamosenergia-előállítás terén – technológiailag adottnak tekinthető. Az épületek energiavesztesége mellett jelentős a veszteség a közlekedési felhasználás terén, mivel a közúti közlekedésben a bemeneti energiamennyiségnek csak kis része alakul át hasznos munkává. A mobilitás fenntarthatóság irányába történő elmozdulása jelentősen javítaná az energiaszfisztéma hatékonyságát – ez minden fejlett ország esetén elmondható.

Az energiaszfelhasználás minden területén jelentős tartalékok vannak, különösen az épületállomány fejlesztése, a közúti közlekedés szabályozása és átalakítása, illetve az egyes termékek keresletének átalakítása által (pl. öko címkék) (TÓTHNÉ SZITA, 2012a).

3. ábra: Magyarország energiaszfolyam-ábrája, 2007



Forrás: STRÓBL nyomán In: ASZÓDI, 2009

A meghatározó energiahordozó a kőolaj, 2010-ben a világon a primer energiaszfelhasználás 36,3%-a volt kőolaj. Az atomenergia aránya 10,2%, míg a megújuló energiaszfforrásoké globálisan 13,2% volt 2010-ben (IEA, 2012). Az Európai Unió primer energiaszfelhasználásának arányai tulajdonképpen leképezik a globális eloszlást: a kőolaj felhasználásának aránya 35%, a földgázé 25%, a széné 16%, az atomenergiaé 13%, a megújulók részaránya pedig 10% (EUROSTAT, 2012). Az EU-27-ben tehát a jelentős

erőfeszítések, a politikai szándék és anyagi szubvenció ellenére idáig nem sikerült az energiakeverék gyökeres, fenntartható irányú átalakítása. Hazánk megújuló energiaforrásainak aránya a primer energiafelhasználásban 2010-ben 7,8% (**2. ábra**), 2012-ben pedig 8,1% volt (EUROSTAT, 2012; In: BAI, 2013).

A jelenlegihez képest elérni kívánt, ideális állapot a fenntartható energiagazdálkodás. DINYA László meghatározásával élve, a fenntartható energiagazdálkodás „az energiatermelés, -tárolás, -szállítás, -felhasználás komplex folyamatának (vertikumának) társadalmi, gazdasági és ökológiai szempontokat integráló megvalósítása; a klasszikus energiagazdálkodás fenntartható fejlődésbe illeszkedő átalakítása” (DINYA, 2010; p. 914.).

A viszonylagos sikertelenség az energiarendszer fenntarthatóságának elérésében több tényezőre is visszavezethető. Egyrészt a megújuló energiaforrások hasznosításának költségei – a beruházást is figyelembe véve – a legtöbb esetben még magasabbak a fosszilis tüzelőanyagokra alapozott technológiáknál (SCHILLING – ESMUNDO, 2009; DE JAGER et al., 2011; UNEP, 2011; DEL RIO, 2011; HAAS et al., 2011). Az utóbbi évek gazdasági visszaesésének közepette ennek az áthidalása fokozottan nehézségekbe ütközött.

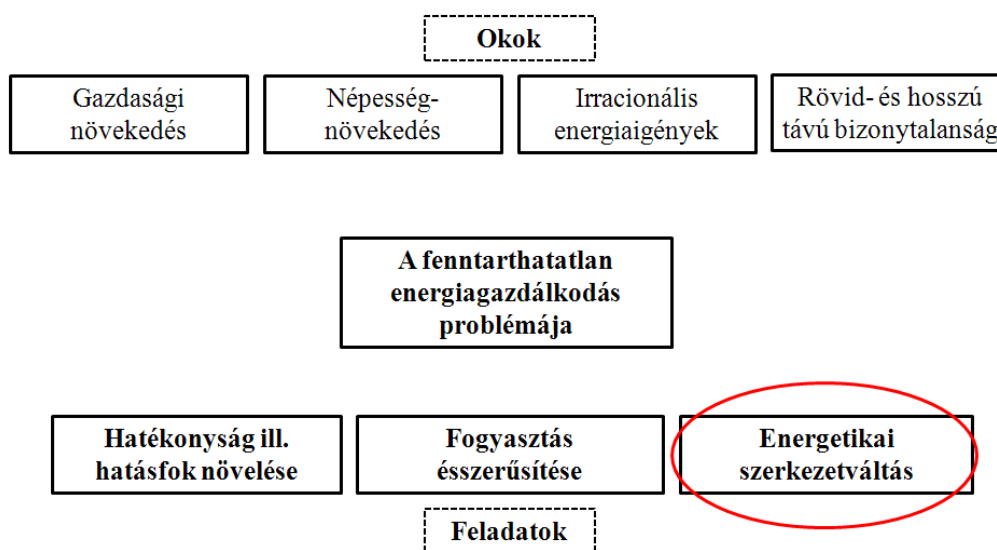
Másrészt, a fenntartható energiarendszer elérése érdekében a keresletnek is jelentősen át kellene alakulnia, mint például a már említett közúti közlekedés arányának csökkentése által, illetve általában energiatakarékosági erőfeszítések révén. Ezek azonban a gazdasági-társadalmi rendszer mai felépítésében számtalan érdekellentétbe ütköznek: a gazdasági növekedés elsőbbsége gyakran felülírja a kevesebb energiafelhasználásra való törekvést. Jó példa erre a globális gazdasági válság első éveiben a gépjárművásárlás támogatása, de a fenntarthatósággal ellentétes, gazdasági, vagy szociális ösztönzők és érdekek az egész rendszerben kedvező gazdasági körülmények között is megfigyelhetők és átszövik azt.

A problémakör értékelésekor szót kell ejtenünk az emberi tényezőről is: a fejlett világban kialakult fogyasztási szint és általános életszínvonal már olyan megszokott komfortot biztosít a fogyasztók számára, hogy az arról történő önkéntes, akár részleges lemondás is már nagy nehézségekbe ütközik. Bár a fenntarthatatlan társadalmi-

gazdasági folyamatokkal kapcsolatos problémák mára széleskörűen ismertek, a valódi fogyasztói döntésekben szinte egyáltalán nem játszanak szerepet.

Disszertációmmal a megújuló energiaforrások szerepének növeléséhez szeretnék hozzájárulni, elsősorban a támogatásukat célzó különböző mechanizmusok és programok hatásosságának és hatékonyságának javítását célzó elemzésekkel. Szintén kiemelkedő jelentőséggel bírna az energiagazdálkodás fenntarthatósága szempontjából az energiaigények csökkentésének lehetőségeit (**4. ábra**) is vizsgálni (PÁLVÖLGYI, 2000; LOVAS (szerk.), 2010), ez azonban nem képezte kutatásom részét. Hasonlóképpen, a különböző energiahatékonyság-növelést célzó intézkedések társadalmi-gazdasági hatásait sem vizsgáltam. Munkám mindezek alapján a megújuló energiaforrások kínálati oldalon megfigyelhető minél nagyobb lehetséges arányának elérése, tehát a termelési szerkezetváltás elősegítése érdekében született meg.

4. ábra: A fenntarthatatlan energiagazdálkodás problémaköre



Forrás: Saját szerkesztés

A fejezet további részében először meghatározom azon megújuló energiaforrások hasznosítását célzó technológiákat, melyek hazánk energiakeverékében szerepet játszhatnak, majd ezek összehasonlításának és értékelésének elméleti, illetve gyakorlati jelentőségét vázolom.

1.2. A megújuló energiaforrások hasznosításának technológiái

Az alternatív energiaforrások intenzívebben a XX. század második felének olajválságait követően kerültek előtérbe, de a fosszilis energiahordozók árának visszaesése általában háttérbe szorította a fejlesztéseket. Az előző század végén – a globális klímaváltozás felismerését és leküzdésének politikai céljá váló emelését követően – a klímavédelmi szempontok miatt kerültek a megújuló energiaforrások a tudomány és politika fősodrába.

Az új energiatermelési folyamatoknak azonban egyéb fejlesztési lehetőségeket is tulajdonítanak. A megújuló energiaforrások alkalmazása gazdasági és társadalmi előnyökkel is járhat (LUKÁCS, 2009). Amellett, hogy használatukkal növelhető az ország energiabiztonsága, általában új, magas technológiai szintű termelőkapacitások és szolgáltatások fejlődését hozzák magukkal, munkahelyeket teremtenek. Növekszik általuk a vidék eltartó-képessége a gazdasági tevékenység diverzifikációjával. A megújuló energiaforrások alkalmazásának fejlesztése járulékos beruházásokkal és munkahelyteremtő képességével pozitív nemzetgazdasági hatásokat fejt ki (CSOM et al., 2006; BAI et al., 2007). A megújuló energiák hasznosítására azonban csak reális mértékben célszerű törekedni, figyelembe véve azok hátrányait is (BÜKI – LOVAS (szerk.), 2010).

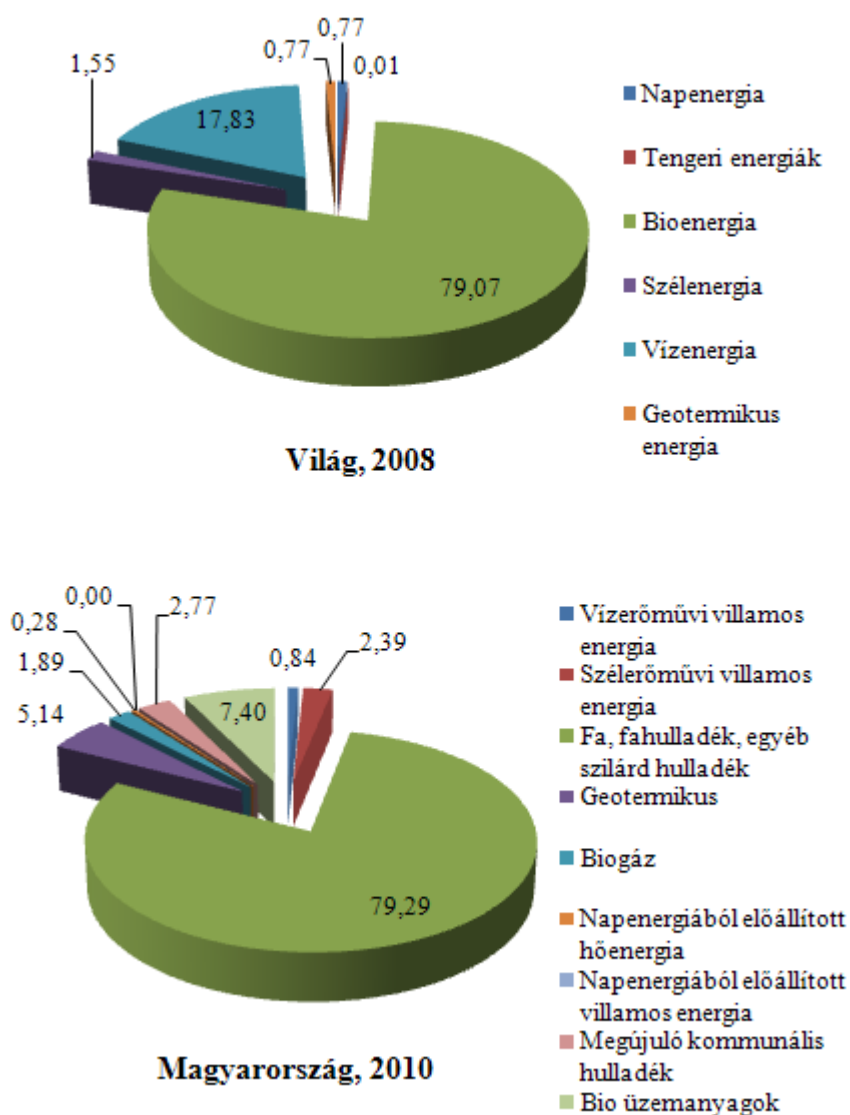
A megújuló energiaforrások hasznosításának globális megoszlását (5. ábra) figyelembe véve elmondható, hogy szinte teljes a dominanciája azon forrásoknak, melyek technológiailag évszázados múltra tekintenek vissza: ilyen a biomassza és a vízenergia hasznosítása. A világszerte megújuló forrásból előállított energia 96,9%-át az említett két energiahordozó fedezi.

Hazánkban a biomassza energetikai célú felhasználása a globális értéknél még magasabb is: 88,6%¹. A 2000-es években jelentősen fellendült a szélenergia, napenergia és a biogáz energetikai kiaknázása, ezek korábban, az elmúlt évtizedekben nem voltak jelen a magyar energiakeverékben. A vízerőművi energiahasznosítás stagnál, a geotermikus energiatermelés 2000 és 2010 között 15%-kal nőtt, míg ugyanezen

¹ Biogáz, dendromassza és bioüzemanyagok együtt.

időszakban a fa és egyéb szilárd forrású bioenergia előállítás több mint kétszeresére bővült (KSH, 2013).

5. ábra: Magyarország és a világ megújuló forrású primer energiafelhasználásának megoszlása



Forrás: KSH, 2013; ARVIZU et al., 2011

A globális lehetőségek tekintetében a megújuló energiaforrások kínálta lehetőségek meghaladják a jelenlegi energiaigényeket (ARVIZU et al., 2011). A hivatkozott IPCC tanulmány számos potenciál-felmérés alapján mutatja be az egyes források technikai potenciáljait (**1. táblázat**). A szél- és napenergia teljes technikai potenciálja meghaladja

napjaink energiaszükségletét, a vízenergia és a biomassa hasznosításában rejlő lehetőségek ettől kismértékben elmaradnak.

1. táblázat: Globális energiafelhasználás és a technikai potenciál becslései

	Villamos energia, végső felhasználás; EJ/a				Hő, végső felhasználás; EJ/a	Primer energiafelhasználás, összes* EJ/a	
Felhasználás 2008-ban	61				164	492	
Forrás	Geotermikus	Vízenergia	Tengeri energiák	Szélergia	Geotermikus	Biomassza	Napenergia
Maximum	1.109	52	331	580	312	500	49.837
Minimum	118	50	7	85	10	50	1.575

*A sokszínű felhasználási lehetőségek miatt az előállítás célját nem definiálták.

Forrás: ARVIZU et al., 2011

A technikai potenciált – ami az elméleti hasznosíthatóság adott technológiai korlátokon belüli elérhetősége – tovább csökkentik egyéb gazdasági, társadalmi és rendszerkorlátok valamint a fenntarthatóság problémái, például környezeti hatások, ezért a gazdasági és fenntartható potenciál figyelembe vétele elengedhetetlen (PYLON, 2010a), bár ezek becslése jóval bonyolultabb. A gazdasági potenciál a gazdaságosan kiaknázzható potenciált fedi le, míg a fenntartható potenciál a társadalmi-ökológiai tényezőkkel összhangban hasznosítható energiamennyiséget fejezi ki (DINYA, 2010).

Magyarország lehetőségeit tekintve a bioenergetikai potenciál területén születtek a leginkább eltérő becslések, mivel ebben az esetben a számítások jelentős mértékben függenek a termőföld más, hagyományos célú hasznosításának igényétől és annak értékelésétől. A becslések az alapanyagbázis értelmezésében és a biomassa egyéb piacainak igényében is eltérő feltételezésekre alapoznak, a következőkben ezeket mutatom be, először a hazai, majd a nemzetközi tanulmányok eredményeit ismertetve.

Hazánk teljes biomassa-készlete 350-360 millió tonna, melyből 105-110 millió tonna évente megújul. Az évente képződő biomassa bruttó energiatartalma 1185 PJ (BAI et al., 2002). A megújuló energiaforrások Magyarország megújuló energia hasznosítási cselekvési tervében 2020-ig vállalt (NFM, 2010) arányának eléréséhez szükséges alapanyagbázis rendelkezésre áll (POPP – POTORI (Szerk.), 2011).

A hazai *bioenergia*-potenciálra vonatkozó egyik átfogó becslést MAROSVÖLGYI Béla publikálta 2004-ben. A becslés szerint hazánk potenciáljának kb. fele hulladékokból és melléktermékekből származik. A legnagyobb lehetőségek a növényi termékek és a harmadlagos biomasszák hasznosításában rejlenek, melyek többszörösen feldolgozott biomassza-eredetű, élelmiszeripari, élelmezési és kommunális hulladékok. Az összes technikai potenciál 203,2-328 PJ.

LUKÁCS Gergely Sándor (2009) Magyarország elméleti energetikai biomassza-potenciálját 417 PJ értékben határozza meg, a technikai potenciált azonban már jóval kevesebbre becsli, a reálisan energetikai célra hasznosítható biomassza energiaértéke 95-100 PJ.

BAI Attila és munkatársai (2007) hazánk biomassza-energetikai potenciálját 297 PJ/évben határozták meg, ebből 77,2 PJ lehet a biogáz által előállított energia szerepe. A GKI prognózisa szerint a biomassza-forrású primerenergia mennyisége 2030-ra évi 280,1-310,8 PJ lehet (GÉMESI et al., 2009). DINYA LÁSZLÓ (2010) – több becslés alapján – a hazai fenntartható bioenergetikai potenciált 58-328 PJ közé helyezi.

A technikai bioenergetikai potenciál kiszámítható a növények ökológiai igényéből kiindulva is. Saját korábbi számításaim alapján 29 lehetséges fás- és lágyszárú energetikai hasznosítású növény számára az optimális termőhely biztosításával (talaj, éghajlat) hazánk országos védettséget nem élvező területeinek bioenergetikai potenciálja évi 1362,24 PJ, a hazai élelmiszergazdaság igényelte terménymennyiséget szintén az optimális termőhelyen előállítva. Ez az energiamennyiség tartalmazza az élelmiszeripari, faipari és mezőgazdasági melléktermékeket is (164 PJ). Ez a becslés kimagasló értéket eredményez az optimális területválasztás és a mezőgazdasági exporttól való eltekintés miatt (DOMBI – BALÁZS, 2010).

Az Európai Környezetvédelmi Ügynökség egyik tanulmánya (EEA, 2006) figyelemre méltó e téma szempontjából, ugyanis a „környezet-kompatibilis” technológiai potenciál meghatározására tesz kísérletet. A vizsgálat eredményeképpen egy „konzervatív becslés” született, mely szerint Magyarország biomassza-energetikai potenciálja 145,5 PJ/év. A tanulmány az európai mezőgazdaság fejlődésének extenzív útját feltételezi, az élelmiszertermelést szolgáló területeket kizárja a számításból, valamint számos

természetvédelmi szempontot is figyelembe vesz, mint például a biodiverzitás védelme, vagy a környezetileg érzékeny területek megóvása (EEA, 2006). Ezek a célok valóban prioritást élveznek, a mezőgazdaság extenzív fejlődési pályája azonban kérdéses lehet a növekvő keresletet és annak átalakuló szerkezetét figyelembe véve (NÁBRÁDI – POPP, 2012).

VAN DAM és munkatársai (2007) a prognosztizált energiakeresletből, a mai és a várható mezőgazdasági viszonyokból kiindulva mutatják be a jövőben várható földhasználatot és energetikai biomassza-felhasználást. A magyar energiarendszer öt különböző prognózis alapján évente 300-1100 PJ energiamennyiséggel számolhat erdészeti és mezőgazdasági forrásból.

Sonja SIMON és Kirsten WIEGMANN tanulmánya (2009) Németország, Lengyelország, Csehország és Magyarország mezőgazdasági bioenergia-potenciáljának felmérését célozta a 2030-ig terjedő időszakra vetítve. Az eredmények alapján hazánk bioenergetikai potenciálja 0,8-1,6 millió ha terület hasznosításával 140-260 PJ évente.

A Kárpát-medence adottságai általában kedvezőek a *geotermikus energia* szempontjából. A hazai potenciál mintegy 30 PJ/év – ennek ma kb. 10%-át hasznosítjuk (GIBER, 2005). A geotermikus energia hasznosítása hazánkban 2025-re elérheti a 14,4 PJ/év mértéket (CSOM et al., 2006), ami a már említett potenciál fele. Ez a mennyiség a magyar energiafelhasználás alig több mint egy százaléka, jelentősége egyes termelőegységek, közületek és lakóközösségek energiaellátásában rejlik.

Magyarország területének 0,1%-os lefedésével, 10%-os hatásfokkal számolva, a napsütéses órák számának figyelembevételével, fedezhetnénk az energiaigény 40%-át *napenergia* hasznosítása által (REMÉNYI, 2007). Az időjárási bizonytalanságokat, a szerelés optimumtól való eltérését figyelembe véve azonban a lehetőség inkább már a 10%-hoz közelít (VAJDA, 2004). Az MTA felmérése szerint az elméleti potenciál 1383 PJ, ebből a hasznosítható potenciál mindössze 4-10 PJ lehet (GKM, 2007). FARKAS István (2010) a napenergia hasznosításának különböző területei alapján a hasznosítható hazai napenergia-potenciált a következőképpen értékeli: aktív szoláris termikus rendszerek: 48,8 PJ; mezőgazdasági szoláris termikus alkalmazások: 15,9 PJ; a fotovoltaiikus (PV) energetikai potenciál értéke 1749,0 PJ évente; a passzív szoláris

termikus energiahasznosításban rejlő energiamennyiség pedig évi 37,8 PJ. Így évente összesen 1815,5 PJ energiamennyiség lenne kinyerhető (FARKAS, 2010).

A *szélenergia* szerepe az energiatermelésben egyelőre csekély. A szélenergia nagy problémája, hogy teljesen időjárásfüggő, a magyarországi tapasztalatok szerint a turbinák kihasználtsága 20% (CSOM et al., 2006; GKM, 2007). Hasznosításuk területileg behatárolt, az ország területének 65%-án kizárt a szélturbinák telepítése (erdőterületek, védett területek, vonalas infrastruktúra környezete, nagy lejtésfokú területek). Az ország felszínének 35%-a tehát elméletileg alkalmas a szélenergia hasznosítására, itt azonban az átlagos szélesebségből adódó gazdaságossági korlát szab határt. A magyar technikai szélenergia-potenciál egy tanulmány szerint 204,7 PJ/év lehet, az ország alkalmas területeinek teljes lefedésével (21.964 km²), 78.442 db szélturbina üzembe helyezésével (BÍRÓNÉ KIRCSI et al., 2006).

A *vízenergia* felhasználása számtalan kedvező tulajdonsággal rendelkezik. Alacsony emisszióval és költséggel termel, de beruházási költsége igen magas. Energetikai jelentősége mellett fontos megemlíteni meliorációs és árvízvédelmi szerepét, illetve a tározótavak esetleges turisztikai kihasználásának lehetőségét. A vízenergia szerepét mindenképpen növelni kellene, hiszen ez az energiaforrás tökéletesen képes ellátni a rendszerszabályozás követelményeit, így elősegítheti az időszakosan termelő megújuló energiaforrások fejlődését.

Hazánkban az elméleti vízenergia-készlet 36 PJ/év, aminek ma kb. 2%-át hasznosítjuk (REMÉNYI, 2007). A műszaki potenciál 72%-a a Duna vizének kihasználása által szolgáltatna energiát. A vízenergia számottevő bővítésével egy nagy dunai vízerőműprogram újraélesztése nélkül nem számolhatunk (GKM, 2007). Jelentős előrelépést hozhatna a hasznosítás terén egy szivattyús-tározós erőmű (GERSE, 2007; SZEREDI et al., 2010), amellyel növelhetnénk az ország vízenergia-potenciálját. Egy korábbi számítás szerint hazánk elméleti vízerőkészlete évi 26,8 PJ. Ez a vízerőkészlet szivattyús energiatározó létesítésével tovább növelhető kb. 1-1,2 GW beépített teljesítménnyel (SZEREDI et al., 2010). Mindez évi 2.500-3.000 óra üzemidőt feltételezve 9-13 PJ primer energiatermelést biztosíthatna évente. A **2. táblázat** tartalmazza a hazai potenciálbecslések eredményeit.

2. táblázat: A hazai megújuló energia potenciál

Energiaforrás	Potenciál; PJ/a	Forrás
Biomassza	203,2-328,0	MAROSVÖLGYI, 2004
	417,0	LUKÁCS, 2009
	95,0-100,0	
	297,0	BAI et al, 2007
	280,1-310,8	GÉMESI et al., 2007
	58,0-328,0	DINYA, 2010
	145,5	EEA, 2006
	300,0-1100,0	Van DAM, 2007
	140,0-260,0	SIMON – WIEGMAN, 2007
	58,0-223,0	ENERGIAKLUB, 2007
	347,2	PYLON, 2010c
	1362,2	DOMBI – BALÁZS, 2010a; 2010b
Geotermikus energia	30,0	GIBER, 2005
	50,0-63,0	ENERGIAKLUB, 2007
	29,3	PYLON, 2010c
Napenergia	440,0	REMÉNYI, 2007
	110,0	VAJDA, 2004
	1362,2	BŰKI – LOVAS (szerk.)
	4,0-10,0	GKM, 2007
	1815,5	FAZEKAS, 2010
	3,6-1749,0	ENERGIAKLUB, 2007
	22,0	PYLON, 2010c
Szélenergia	204,7	BÍRÓNÉ KIRCSI et al., 2006
	1,3-533,0	ENERGIAKLUB, 2007
	15,5	PYLON, 2010c
Vízenergia	36,0	REMÉNYI, 2007
	26,8 + 9-13	SZEREDI et al., 2010
	1,2-14,0	ENERGIAKLUB, 2007
	2,3	PYLON, 2010c
Összesen	94,1-3736,2	
	583,7-712,5	
	127,1-416,3	
	Elméleti potenciál	
	Technikai potenciál	
	Gazdasági potenciál	
	Fenntartható potenciál	

Forrás: lásd a táblázatban

Az elméleti potenciál a fizikailag rendelkezésre álló energiamennyiséget jelenti, a technikai potenciál a strukturális korlátok között reálisan kiaknázható, míg a gazdasági a gazdaságosan kiaknázható potenciált fedi le. A fenntartható potenciál pedig a társadalmi-ökológiai tényezőkkel összhangban hasznosítható energiamennyiséget fejezi

ki (DINYA, 2010). Az egyes potenciál-kategóriákon belül megfigyelhető viszonylag jelentős eltéréseket módszertani különbségek okozzák.

Látható tehát, hogy az egyes megújuló energiaforrásokhoz köthető energiatermelés – amennyiben a lehetőségeket a fenntarthatónál nem nagyobb mértékben használjuk ki – a nemzetgazdaság primer energiafelhasználása egyharmadának-felének kielégítésére elegendő. Hazai viszonyok között a legnagyobb lehetőség továbbra is a biomassza energetikai célú hasznosításában rejlik, továbbá jelentős előrelépést rejthet magában a napenergia és geotermikus energia kiaknázása is.

Mindez alátámasztja, hogy a jövőben az energiatakarékossági intézkedések, illetve az energetikai szerkezetváltást célzó beavatkozások összhangjára fokozottan ügyelni kell. Energiarendszerünket méretére és összetételére tekintettel egyaránt jelentősen át kell alakítani.

Az egyes megújuló energiaforrásokat hasznosító technológiák között jelentős eltérések figyelhetők meg műszaki és gazdasági paramétereikben, de sok esetben környezeti és társadalmi hatásaik terén is. Egyes forrásokon belül a technológiák jelentősen eltérhetnek a határfok, a költségek, a munkaerőigény, a kibocsátások és egyéb jellemzőik szerint, mint például a bioenergetikán belül a közvetlen eltüzelés villamos energia előállításának céljával, a bioüzemanyagok és a hőhasznosítás.

A technológiák további differenciálása szükséges méret szerint is, mivel ez a méretgazdaságossági szempontokon kívül egyes esetekben jelentős technológiai különbségeket is okoz. A vízenergia hasznosítása esetén például jelentős eltérések figyelhetők meg nem csak a beruházási költségekben, de a duzzasztás mértékében, így a területigényben is.

Kutatásom során a fenntarthatósági szempontból kiemelkedő technológiákat azonosítottam, így a vizsgálat „alapegysége” is a technológia volt, nem pedig az energiaforrás általában. Összesen 17 lehetséges technológia került a fenntarthatósági értékelés látókörébe.

További technológiai lebontásra is lehetőség volna több technológiát vizsgálva ezáltal, de a nagy mennyiségben, megbízható forrásból hozzáférhető adatok korlátozottsága miatt az egyes energiaátalakítási módokat valamilyen szintig össze kellett vonnom. Például a kis vízerőművek terén 3-4 különböző típusú turbina is beépíthető, ezek alapján mind külön technológiaként értelmezhetnénk ezeket. Vizsgálatom szempontjából azonban lényeges különbségeket ezen a szinten nem feltételeztem, ezért elegendőnek tartom az alább bemutatott technológiai lebontást.

A hazánkban hasznosítható technológiákat a **3. táblázat**ban az összes technológia között külön megjelöltem. A táblázat alapján követhető az is, milyen technológia segítségével milyen felhasználási célú energia állítható elő.

A fentiek közül disszertációmiban csak a fejlett, illetve egyes diffúziós szakaszban lévő hasznosítási eljárásokra térek ki. A kutatás-fejlesztési és demonstrációs szakaszból a technológiák további fejlődése még nem egyértelmű. A fenntarthatósági értékelés elvégzéséhez szükséges több környezeti, társadalmi és gazdasági jellemző tekintetében pedig még vagy egyáltalán nincsenek, vagy nem megbízhatók a rendelkezésre álló adatok e technológiák esetében.

A **3. táblázat** alapján elmondható, hogy a biomassza hasznosítása villamos energia és hőenergia előállítására szinte kizárólag fejlett eljárásokkal jellemezhető, ami nagy előnye a biomassza energetikai hasznosításának a viszonylag könnyen elérhető technológia miatt. A geotermikus és vízenergia-hasznosítás technológiáinak többsége szintén a fejlett szakaszban van.

A passzív napenergia-hasznosítás kívül esik összehasonlításom hatáskörén, mivel ez különböző építészeti megoldásokat kíván meg és nem tekinthető energiakonverziós eljárásnak.

3. táblázat: Megújuló energiaforrások hasznosítása, technológiai fejlettség szerint

	K + F	Demonstráció	Diffúzió	Fejlett
Biomassza	• [Harmadik generációs bioüzemanyagok]	• [Második generációs bioüzemanyagok]	• Termikus kigázosítás	• Egyedi biomasszafűtés, pellet • Egyedi biomasszafűtés, fa/apríték • Biomassza-alapú távfűtés [2] • Biogázüzem • Biomassza-tüzelésű hőerőmű • Biomassza-tüzelésű hőerőmű, kapcsolt (CHP) • [Bioetanol] • [Biodízel]
Geotermikus energia	• Tengeri geotermikus energia-hasznosítás	• [Mesterséges földhőrendszer (EGS)]		• Közvetlen hőhasznosítás [2] • [Hőszivattyú (CHP)] • Geotermikus erőmű • [Geotermikus erőmű (kapcsolt)]
Napenergia	• [Mesterséges fotoszintézis]	• [Szoláris hűtés]	• [Napenergiás főzés] • [Koncentrált fotovoltaikus rendszer (CPV)] • Koncentrált napenergia (CSP)	• Napelem (PV) • Termikus napenergia-hasznosítás (kollektor) • [Passzív napenergia-hasznosítás]
Szélerenergia	• [Magaslégköri szélerenergia]	• [„Wind kite”]	• Offshore szél erőművek	• [Kisteljesítményű szélturbina] • Szél erőmű
Vízenergia		• [Hidrokinetikus turbina]		• [Átfolyós víz erőmű] • Víz erőmű [2] • [Szivattyús-tározós erőmű]
Tengeri energiák	• Óceáni áramlások hasznosítása	• Hullámerőmű • Árapály-áramlás hasznosítása • Sókoncentráció-különbség hasznosítása • Óceáni termikus energiaátalakítás (OTEC)		• Árapály erőmű

[2] Az adott technológia két részre osztható: kis- és nagyléptékű hasznosításra.

A hasznosítás célja: villamos energia; hőenergia; mechanikai munka (közlekedés); többcélú

[A szögletes zárójelben foglalt technológiákat nem vettem figyelembe.]

A sötétített cellák Magyarországon nem releváns technológiákat jelölnek.

Forrás: saját szerkesztés UNEP, 2011 és ARVIZU et al., 2011 alapján

A szivattyús-tározós erőművek bevonásától szintén eltekintettem, mivel ilyen létesítmény rendszerbe illesztésére hazánkban jelenleg nincs deklarált szándék (NFM, 2010), annak ellenére, hogy szakmailag indokolt lenne (GERSE, 2007; BAKÁCS - ZETTNER, 2009; KERÉNYI, 2009; SZEREDI et al., 2010). A beruházás azonban várhatóan ellenállásba ütközne, illetve az sem világos, kinek kellene befektetni egy ilyen projektbe: az MVM-nek, a rendszerirányítónak vagy a fogyasztóknak. Egy alaplétesítmény (300 MW) beruházási költsége 69-90 Mrd Ft – igaz, ez a fogyasztók által fizetett rendszerszabályozási díj éves aggregált összegének két-háromszorosa (SZEREDI et al., 2010).

A kisteljesítményű szélturbinákkal és a hőszivattyúkkal az értékelésben nem kalkuláltam, mivel kutatásaim során aránytalanul kevés adatot találtam az értékelés alapjául szolgáló fenntarthatósági jellemzők tekintetében. A kapcsolt energiahasznosítás adatai is ritkák és ellentmondásosak voltak.

Bár léteznek Magyarországon geotermikus erőművek létesítése szempontjából perspektivikus helyszínek, a ma ismert technológiai környezetben nem gazdaságos azok hasznosítása (MÁDLNÉ SZŐNYI, 2008; BOBOK – TÓTH, 2010). Ezen technológiákat a távlati lehetőségek miatt vettem figyelembe az összehasonlítás során.

A vizsgálat során eltekintettem a megújuló forrású hajtóanyagok értékelésétől (hidrogén, megújuló forrású villamos energia és bioüzemanyagok), mivel a közlekedési szektor üzemanyagának értékelése a helyhez kötött energiaátalakítás technológiáitól eltérő jellemzők vizsgálatát igényelné. Ezen jellemzők között több felhasználó-oldali is fellelhető, ami a különböző hajtások hasznosíthatóságát befolyásolja (pl. hatótávolság, sebesség). Mindez a vizsgálat körét jelentősen bővítette volna, ezért jelen disszertációban villamos energia és hőenergia előállításának technológiáit értékelem.

1.3. A megújuló energiaforrások hasznosítását célzó technológiák fenntarthatósági értékelésének elméleti és gyakorlati jelentősége

Minden megújuló energiaforrás mellett felsorolhatók előnyök és hátrányok, így szükségesnek tartom azok egymással való összevethetőségének megalapozását. Az egyes technológiák nem zárják ki egymást, és a megújuló energiaforrások kiaknázását

mindig az adott terület lehetőségeihez kell mérnünk; az energiapolitikai és általános fejlesztéspolitikai prioritások meghatározásához azonban szükség van a különböző technológiák összevetésére.

A „fenntarthatósági értékelés” kifejezés használata a magyar tudományos életben szokás szerint egyes stratégiai jelentőségű tervek és programok fenntarthatósági szempontú ex ante vizsgálatát jelenti (CZIRA, 2003). Disszertációmban a kifejezést azonban egy adott területen egymással összehasonlítható műszaki, technológiai megoldások összevetésének kifejezésére használtam² (mint például SZÁNTÓ, 2012).

A megújuló energiaforrásokat hasznosító technológiák együttes értékelése, összehasonlítása stratégiai jelentőségű feladat. „A megújuló energiák hasznosításának számos olyan kérdése van, amelyekre egyedi vizsgálatokkal és azokra alapozott iránykijelöléssel nem lehet válaszolni. A fejlesztés átfogó kérdéseit csak széles körű stratégiai vizsgálatokkal lehet megalapozni” (LOVAS (Szerk.), 2010; p. 103.).

A megújuló energiák térnyerése szempontjából minden természettudományi, műszaki és gazdálkodástudományi kutatásnak nagy jelentősége van, ugyanakkor nem tekinthetünk el a technológiák komplex, rendszerszintű vizsgálatától sem. Ez fontos egyrészt az energiarendszer fejlesztési irányainak meghatározása szempontjából, másrészt mivel az egyes részszektorok, beruházások nem elszigetelten működnek az energiarendszerben.

A rendszerszemléleten túl fontos hangsúlyoznunk a megújuló energetikában rejlő egyéb lehetőségeket is. Korunk ökológiai válságával egyidejűleg a világ országainak több problémával is meg kell küzdenie. Ezen fejlesztendő területek regionálisan eltérnek, a fejlett államokban leginkább a társadalmi feszültségek csökkentése, a foglalkoztatás és a gazdasági fejlődés kerülnek előtérbe. Célszerű tehát, ha a megújuló energiaforrások hasznosításának növelése a klímaváltozás várható hatásainak mérséklése mellett egyéb előnyökkel is jár az említett területeken, integrálva ezáltal a fejlesztéspolitikai célokat. A megújuló energiák hasznosításától tehát a klímavédelmet meghaladó előnyöket is tulajdonítanak, mint a foglalkoztatás növelése (MADLENER – STAGL, 2005; BERGMANN et al., 2006), a gazdaság élénkítése (GÁTHY et al., 2006a; ELGHALI et

² Angol nyelvű szakirodalomban: 'sustainability assessment'.

al., 2007; NFM, 2010; GRUNWALD – RÖSCH, 2011), a vidékfejlesztés (BAI et al., 2002; MENEGAKI, 2006; BARANYI, 2010) vagy a nemzetközi kereskedelem bővítése (POPP, 2013).

Fontos továbbá, hogy a megújuló energiaforrások kiaknázása a lehető legkisebb környezetterhelés mellett legyen biztosítható, ezért a technológiáknak az ÜHG-emissziót csökkentő hatásán túl egyéb környezeti hatásait is figyelembe kell venni az értékeléskor (THÓRHALLSDÓTHIR, 2007; EVANS et al., 2009; SZARKA, 2010).

Az Európai Unió energiapolitikai alapidokumentuma a következő megállapítással kezdődik: „energia nélkül Európa nem működőképes” (EB 2007a, p. 3.). Úgy kell teljesen átalakítanunk az energiakeverékünket, hogy közben Európa ennek következtében ne éljen át jelentős hanyatlást gazdasági, társadalmi értelemben.

A megoldandó probléma nagyon összetett, a hosszú távú célok az EU szerint az energiapolitikában a fenntarthatóság, az ellátás biztonsága és a versenyképesség. Az Unió – stratégiai szinten – elkötelezett a környezeti állapot és a gazdaság egyidejű fejlesztése iránt, a versenyképesség fokozására éppen a hosszú távon alacsonyabb energiaárak, az energiatakarékosság, a szektor innovációs lehetőségei, munkahelyteremtése és beruházás-igénye által lát esélyt; mindezt „új ipari forradalomnak” nevezik a dokumentumban.

Az EU e politikai keretek között deklarálta, hogy a tagállamoknak mozgásteret kell biztosítani abban, hogyan teljesítik a fenti célt, tekintve, hogy azok jelentősen eltérőek energiarendszerükben, természeti adottságaikban. Ez lehetővé teszi, hogy a tagállamok a számukra leginkább megfelelő energiaforrásokra helyezték a hangsúlyt, ez jelenik meg a tagállamok cselekvési terveiben (EB, 2007a). Az EU tehát már a célok kitűzésekor sugallta a tagállamoknak, hogy ésszerűen gazdálkodjanak adottságaikkal, így hosszú távú tervek megalkotásakor különösen fontos lenne a lehetőségek pontos ismerete, a megújuló energiaforrások egzakt értékelése.

Az Európa 2020 elnevezésű növekedési stratégiában (EB, 2010) a hét kiemelt cél közül az egyik az „erőforrás-hatékony Európa” elérése, többek között a megújuló energiaforrások arányának növelése által. Az EU ennek érdekében felhívja a tagállamok

figyelmét a káros támogatások megszüntetésére, a piaci alapú eszközök alkalmazására a termelési és fogyasztási módszerek változtatása érdekében, illetve az infrastruktúra-fejlesztésre.

Az Európai Bizottság által létrehozott Megújuló Energia Útiterv (EB, 2007b) 2020-ra 20 százalékos megújuló energiaforrás részarányt, ezen belül a közlekedés vonatkozásában 10 százalékot, továbbá 20 százalékos energiahatékonyság-növelést, és az üvegházhatású gázok (ÜHG) kibocsátásának (az 1990-es szinthez képest) 20 százalékra való mérséklését tűzte ki célul.

Az Útiterv hosszú távú elképzeléseket vázol a megújuló energiaforrásokkal kapcsolatban. A dokumentum szerint a megújuló forrású energia jelentőségének növeléséhez át kell alakítani azok uniós támogatásának módját, valamint ki kell szélesíteni a jelenlegi uniós szabályozási kereteket. Ebben a dokumentumban már megjelenik a technológiák fenntarthatósági értékelésének igénye: az alapelvek között szerepel, hogy a megújuló energiákra vonatkozó majdani politikai keretnek „...környezeti és társadalmi tényezőket is figyelembe kell vennie” (EB, 2007b; p. 10.). Az Útiterv főleg adminisztratív feladatokat emel ki a tagállamok számára, a megújuló energiaforrásokat külön-külön nem elemzi.

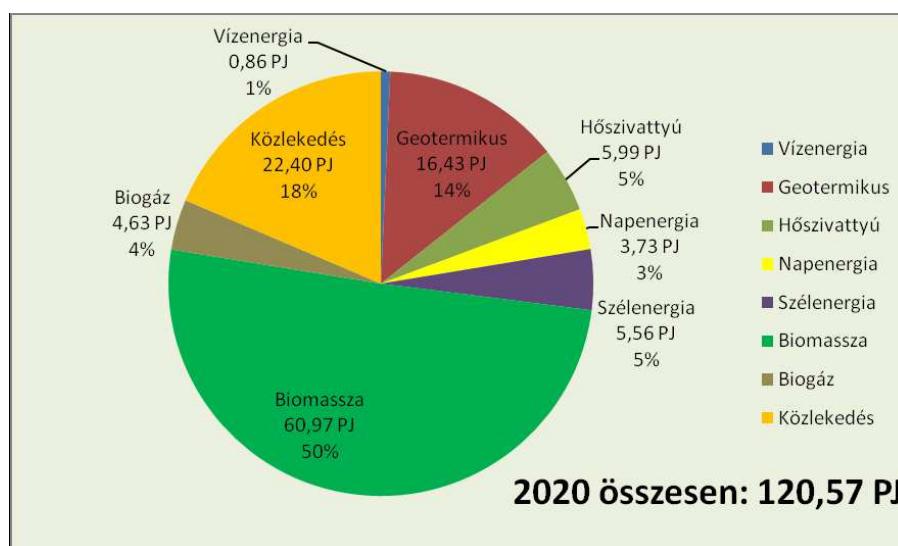
A bemutatott stratégiai dokumentumok alapján elmondhatjuk, hogy már az EU energiapolitikai alapidokumentuma felveti annak jelentőségét, hogy a tagállamok tudatosan tervezzék megújuló energiakeveréküket.

Hazánkban, 2012 májusában a Nemzeti Fenntartható Fejlődési Tanács elfogadta „A fenntarthatóság felé való átmenet nemzeti koncepciója – Nemzeti Fenntartható Fejlődési Keretstratégia 2012-2024” című dokumentumot. A Keretstratégia nem foglalkozik külön a megújuló energiaforrások szerepével, azt viszont kijelenti, hogy felül kell vizsgálni a támogatások rendszerét a területen, az energiahordozók „fenntarthatósági teljesítményének figyelembevételével” (NFFT, 2012; p. 36.). Itt tehát – helyesen – a különböző lehetőségek komplex, fenntarthatósági vizsgálatát szorgalmazzák a szakértők, nem egyes elemek kiemelését.

A magyar Nemzeti Éghajlatváltozási Stratégia (KvVM, 2008) hangsúlyozza, hogy elsődleges az energiahatékonyság növelése és az energiafelhasználás csökkentése. A megújuló energiaforrások közül a biomassa kerül kiemelésre, miszerint „alkalmazása egy bizonyos mértéken felül azonban természetvédelmi problémákat vet fel” (KvVM, 2008; p. 47.).

„Magyarország Megújuló Energia Hasznosítási Cselekvési Terve 2010-2020” az ellátásbiztonság, versenyképesség és fenntarthatóság összeegyeztetését hangsúlyozza. A Terv a végső energiafelhasználás 14,65%-ának megújuló forrásból történő előállítását vállalja 2020-ra, 120,5 PJ energiamennyiség felhasználásával, ami meghaladja a ránk nézve kötelező, 13%-os arányt (NFM, 2010). A tervezett megújuló energiahasznosítás aránya átlagosan a hőhasznosítás esetén 18,9%, villamos energia felhasználásában 10,9%, míg a közlekedésben 10%. A megújuló forrású villamos és hőenergia 2020-ra tervezett aránya látható a **6. ábrán**. A Cselekvési Terv a geotermikus energia arányának intenzív növekedését prognosztizálja.

6. ábra: A villamos energia, hűtés-fűtés és közlekedés szektorokban felhasznált megújuló energiahordozók tervezett megoszlása (2020)



Forrás: NFM, 2010

A vállalatok alapja a Magyar Energetikai Hivatal által koordinált, Green-X modellel végzett kalkuláció volt, mely az egyes technológiák költségeit, ÜHG-kibocsátás csökkentéséhez való hozzájárulása és munkahelyteremtő hatását vette figyelembe (PYLON, 2010d). A cél teljesítése 913 Mrd HUF értékű beruházást igényel 2020-ig (BARTA et al., 2011).

Az Európai Unió többéves pénzügyi kerete elősegítheti a stratégiai gondolkodást, tervezést a tagállamokban. Magyarország a Strukturális Alapokon, a Kohéziós Alapon illetve az Európai Mezőgazdasági és Vidékfejlesztési Alapon keresztül jut finanszírozási forrásokhoz, mely jelen időszakban 22,4 Mrd EUR (kb. 6.600 Mrd HUF) – ebből KEOP 4,9 Mrd EUR (kb. 1.450 Mrd HUF).

A fenntarthatósági értékelés a programok hatását előzetesen vizsgáló ún. ex-ante értékelés eszközévé válhat. Az ex-ante értékelést az EU elvárja a programok készítésekor, a megújuló energiaforrások tekintetében ez az esetlegesen komolyabban támogatandó technológiák felé irányíthatja a pénzügyi forrásokat, még az operatív programok kialakításának folyamatában.

Az Új Magyarország Vidékfejlesztési Program és az Új Magyarország Fejlesztési Terv (ÚMFT) ex-ante értékelését szakértői tanulmányokra alapozták. Részletesen kidolgozott módszertannal az egyes operatív programok különböző gazdasági, társadalmi és környezeti hatásvizsgálatai rendelkeznek (SZILVÁCSKU et al., 2007a; 2007b). A Környezet és Energia Operatív Program (KEOP) ex-ante értékelése egy „fenntarthatósági értékrend” alapján történt, az értékelő szakemberek számára ez biztosította a keretet a javaslattételhez (TOMBÁCS et al., 2003).

Az EU által, az operatív programokon keresztül támogatott egyes projektek esetén horizontális alapelv a fenntarthatóság feltételeinek biztosítása. „Bármely ÚMFT pályázat értékelésének feltétele [...] hogy a pályázó/projektgazda a kötelezően megadandó fenntarthatósági indikátorokra vonatkozóan adatokat szolgáltatasson” (NFÜ, 2009; p. 4.). Ezen indikátorok alapján értékelik a bíráló bizottságok a projekttervezeteket, és nyilvánítják azokat megfelelőnek, ill. nem megfelelőnek, valamint többletponttal jutalmazták a többletvállalásokat maximum 5 pont értékben. Az elérhető maximális pontszám 100.

A megújuló energiaforrások hasznosítását célzó projektek (KEOP) elbírálásánál a tartalmi feltételek között találhatók környezeti, társadalmi hatásokat pontozó szempontok is (pl. ÜHG-kibocsátás, munkahelyteremtés, társadalmi kohézió, környezet- ill. természetvédelem). A fenntartható fejlődés dimenzióinak

figyelembevétele tehát teljesül, de van további lehetőség a projektek vizsgálatának pontosítására több szempont beillesztésével vagy a fenntarthatósági értékelés mint horizontális szempont beépítésével, viszonylag magas pontszámon. A fent említett szempontok pontértéke a pályázatértékelésben jelenleg kb. 20%, konstrukciótól és projektmérettől függően.

Az operatív programok esetében a jövőben lehetőség nyílt a támogatás technológiák szerinti differenciálásra, alapvetően környezeti és hatékonysági szempontok alapján. A korábbi tervek alapján a 2014-2020-as tervezési periódusban várhatóan önálló energetikai operatív program keretében kerültek volna kiírásra a pályázatok összesen 2,8 Mrd EUR (kb. 830 Mrd HUF) értékben (NFM, 2010). Végül a kormány által 2013 őszén elfogadott OP struktúra egy ún. „Környezeti és Energetikai Hatékonysági Operatív Programot (KEHOP) tartalmaz.

A megújuló energiaforrásoknak a villamos energia termelésében betöltött szerepének fokozását célzó kötelező átvételi rendszer (KÁT/METÁR) reformját a szakigazgatás a technológiák erőteljes differenciálása által kívánja elérni, melynek alapja a méret és a technológia. A differenciálás csökkenti a túltámogatás okozta termelői többletet, ezáltal a fogyasztókra hárított technológiai átmenet összköltségét is (PYLON, 2010b).

Technológiai szempontból a környezeti, társadalmi és gazdasági célokhoz való hozzájárulás figyelembevételét is tervezik (foglalkoztatás, szén-dioxid megtakarítás, energiahatékonyság) (NFM, 2010). A METÁR rendszerben fenti célok megvalósulását „kiegészítő bónuszfelár” bevezetésével kívánják biztosítani. A kötelező tarifa és a bónuszfelár kétévente felülvizsgálandó benchmark elemzés alapján kerülne meghatározásra (NFM, 2011).

A bónusz felár egy jelentős részét a komplex értékelés adhatná, ami biztosíthatná annak a lehetőségét, hogy további felárral egy-egy kiemelt cél – például a foglalkoztatás növelése – átlagot meghaladó teljesülését kiemelten jutalmazza a rendszer. Ezáltal a komplex, interdiszciplináris szemlélet és a stratégiai politikai célok érvényesülése is teljesülne.

2013-ban az Európai Unió több tagállama is az egyes megújuló forrásból származó villamos energia (jellemzően nap és szélenergia) támogatásának valamilyen formában történő visszafogása mellett döntött (adóztatás, zöld bizonyítványok bevonása). Erre a lépésre az érintett tagállamok (Spanyolország, Románia, Csehország és Szlovákia) progresszív támogatási rendszere miatt bekövetkezett túltámogatás miatt került sor, ami a vállalati szektor versenyképességét veszélyezteti. A kialakult helyzetben az EU egy iránymutatást publikált novemberben, melyben a következőkre figyelmezteti a tagállamokat a megújuló forrású villamos energia támogatásának tekintetében. A támogatásokat a feltétlenül szükséges mértékre kell csökkenteni, tükrözve a költségek csökkenését; ugyanakkor tiszteletben kell tartani a korábbi támogatási környezetben létrejött beruházásokat; a tagállamoknak törekedni kell a megújuló energiaforrások támogatási politikájának összehangolására. Az EU felveti a rugalmasan szabályozható kapacitások különálló támogatását, amit a megújuló energiaforrások (különösen a szél- és napenergia) arányának növekedése kíván meg. Végül a dokumentum figyelmeztet a piactorzító szabályozási elemek leépítésének szükségességére (pl. hatósági árszabályozás), hogy a keresleti-kínálati viszonyok jobban érvényesüljenek a piacon (EB, 2013).

A fent említett támogatási csatornákon kívül a technológiai értékelésnek szerepe lehetne egyéb, a megújuló energiaforrások térnyerését szolgáló támogatási rendszerekben, intézkedésekben is, leginkább a technológiák differenciálása által. A támogatások technológia szerinti megkülönböztetésére a jövőben lehetőség nyílhat a tervezett egyéb „zöld finanszírozási formák” (pl. „zöld bank”) kialakításakor.

A Cselekvési Terv említést tesz a „zöldhő támogatási lehetőségek” felülvizsgálatáról (NFM, 2010; 12. p.), ennek formájáról azonban napjainkig semmilyen részletet nem ismerhettünk meg. A kormányzat álláspontja alapján ez valamilyen kötelező átvételi rendszer lenne (ZSEMBERA, 2011), aminek a létjogosultsága viszont kérdéses, mivel a távhőrendszereket mindig a helyi hőigények alapján méretezik, és nem célszerű azok rendszerbe foglalása, ellentétben a villamos energiával. A hőenergia-hasznosítás terén, véleményem szerint, a beruházási támogatások növelése hozhat további eredményt.

Összefoglalóan elmondható, hogy a fenntarthatóságban nyújtott egyedi előnyöket meg kell jeleníteni a támogatásokban. A fenti stratégiai tervek és a különböző megújuló

energiaforrások támogatását célzó rendszerek átalakításának tervei alapján láthatjuk, hogy az eddigi, általános támogatási felfogás helyett a technológiák megkülönböztetett dotációja felé tartunk. Ennek alapja a legtöbb esetben valamilyen stratégiai cél, ami azonban annak a veszélyét rejti magában, hogy más, egyébként igen fontos környezeti, gazdasági és társadalmi szempontok háttérbe szorulnak. Az összetett vizsgálat és értékelés fontos lenne annak érdekében, hogy az energiarendszer minden tekintetben a fenntarthatóság felé mozduljon el.

Az olyan fenntarthatósági értékelések, melyeket a szakirodalmat ismertető fejezetben bemutatok majd, és amit magam is célul tűztem ki, biztosítják e szemlélet érvényesülését a stratégiai tervezésben és fejlesztéspolitikában. A komplex fenntarthatósági értékelésre szükség lenne a METÁR rendszer kialakításakor, az új energetikai operatív program kialakításakor és a többi említett támogatási csatorna tervezésekor.

Dolgozatom célja tehát – gyakorlati oldalról – a témafelvetésben említett programokhoz, tervekhez és támogatási rendszerekhez való hozzájárulás a megújuló energiaforrásokra alapozott technológiák fenntarthatósági értékelésének módszerében rejlő lehetőségekkel. A dolgozatomban a fenntarthatósági értékelés a **3. táblázatban** bemutatott technológiákra irányul; alapja a legjelentősebb környezeti, társadalmi és gazdasági jellemzők összehasonlítása, melyek az ÜHG-emisszió csökkentése, az „egyéb káros környezeti hatások” (magyarázat lásd később), a területigény, a munkahelyteremtő potenciál, a lokális jövedelem, az energiahatékonyság és a költségek (**4.2. alfejezet**). Ezen jellemzők fontossági szintjét szakértők körében végzett vizsgálat segítségével tárom fel (**4.1. alfejezet**).

A fenntarthatósági értékelés eredményei reprezentálják a szakértők preferenciáit a jellemzők fenntarthatóságban betöltött szerepét illetően, és megadják a technológiák relatív fenntarthatósági rangsorát. Érzékenységvizsgálatot végeztem a jellemzők rangsorra gyakorolt hatását illetően. Becslést végeztem továbbá Magyarország fenntarthatósági szempontból optimális megújuló energiakeverékének tekintetében az aktuális technológiai-gazdasági környezetben, valamint az egyedi projektértékelés lehetőségeit is bemutattam.

2. HIPOTÉZISEK

Ebben a fejezetben ismertetem hipotéziseimet, melyekben a fenntarthatósági értékelés várható eredményeire vonatkozó várakozásaimat összegeztem. A hipotézisek értékelésére a **6. fejezetben** kerül sor.

H1

A HAZAI SZAKÉRTŐK KÖRÉBEN A MEGÚJULÓ ENERGIAFORRÁSOK HASZNOSÍTÁSÁNAK KÖRNYEZETI ÉS TÁRSADALMI JELLEMZŐI ELSŐDLEGES JELENTŐSÉGŰEK.

Tekintve hazánk helyzetét, feltételezem, hogy a környezeti tényezők (ÜHG kibocsátás, egyéb káros környezeti hatások) jelentőségének értékelése a megújuló energetikai fejlesztések megítélésében nem haladja meg a társadalmi jellemzők fontosságát. A kutatás elején azt feltételezte, hogy a témafelvetésben bemutatott egyéb szempontok közül a társadalmi felzárkózást és fejlődést biztosító pozitív hatások – a munkahelyteremtés és a helyben maradó jövedelem – illetve az ökológiai szempontok a leglényegesebbek a szakértők szerint.

H2

A TECHNOLÓGIÁK KÖZÜL A BIOMASSZA ENERGETIKAI HASZNOSÍTÁSÁNAK MÓDJAI A LEGELŐNYÖSEBBEK FENNTARTHATÓSÁGI SZEMPONTBÓL.

Feltételezve, hogy a társadalmi szempontok nagyon jelentősek, a biomassza hasznosításának technológiái a legelőnyösebbek a várhatóan jelentős munkaerő- és helyi alapanyagigény miatt, ami feltehetően helyben maradó jövedelmet eredményez. Ezt a hatást kiolthatja a területigény magas preferenciája, ezért a rangsor jelentős mértékben függ a megújuló energiaforrások hasznosításához köthető területfoglalás megítélésétől.

H3

FENNTARTHATÓSÁGI SZEMPONTBÓL A KISLÉPTÉKŰ TECHNOLÓGIÁK ELŐNYÖSEBBEK.

Mivel a hasznosítás léptékét növelve általában a fajlagos munkaerő-felhasználás és költség csökken, ezért a nagyobb léptékű technológiák előnytelenné válnak társadalmi

(munkaerőigény és lokális jövedelem) szempontból. Feltételezéseim szerint, a társadalmi dimenzióknak a gazdaságinál nagyobb jelentősége lesz a felmérés eredményeiben, ezért a hasonló technológiák közül a kisléptékű hasznosítás kerül majd előtérbe az értékelés során. Mindezek alapján, a decentralizált energiaellátás fenntarthatósági szempontból előnyösebb.

H4

MAGYARORSZÁG OPTIMÁLIS MEGÚJULÓ ENERGIAFORRÁSOKRA ALAPULÓ ENERGIAKEVERÉKÉBEN A BIOMASSZA KIEMELT SZEREPET JÁTSZIK.

A hazai fenntartható potenciál legnagyobb része a biomasszából adódik (**2. táblázat**), ráadásul a bioenergetikai ágazat minden felhasználási célra képes nagy mennyiségben, tárolható módon energiaforrást biztosítani. Ezek alapján, valamint mivel feltételezhetően a biomassza energetikai hasznosításának technológiai előkelő helyet foglalnak el a relatív rangsorban, az elérendő fenntartható energiamix legnagyobb arányban biomassza-alapú.

3. A MEGÚJULÓ ENERGIAFORRÁSOK ÉRTÉKELÉSE, ÖSSZEHASONLÍTÁSA A SZAKIRODALOMBAN

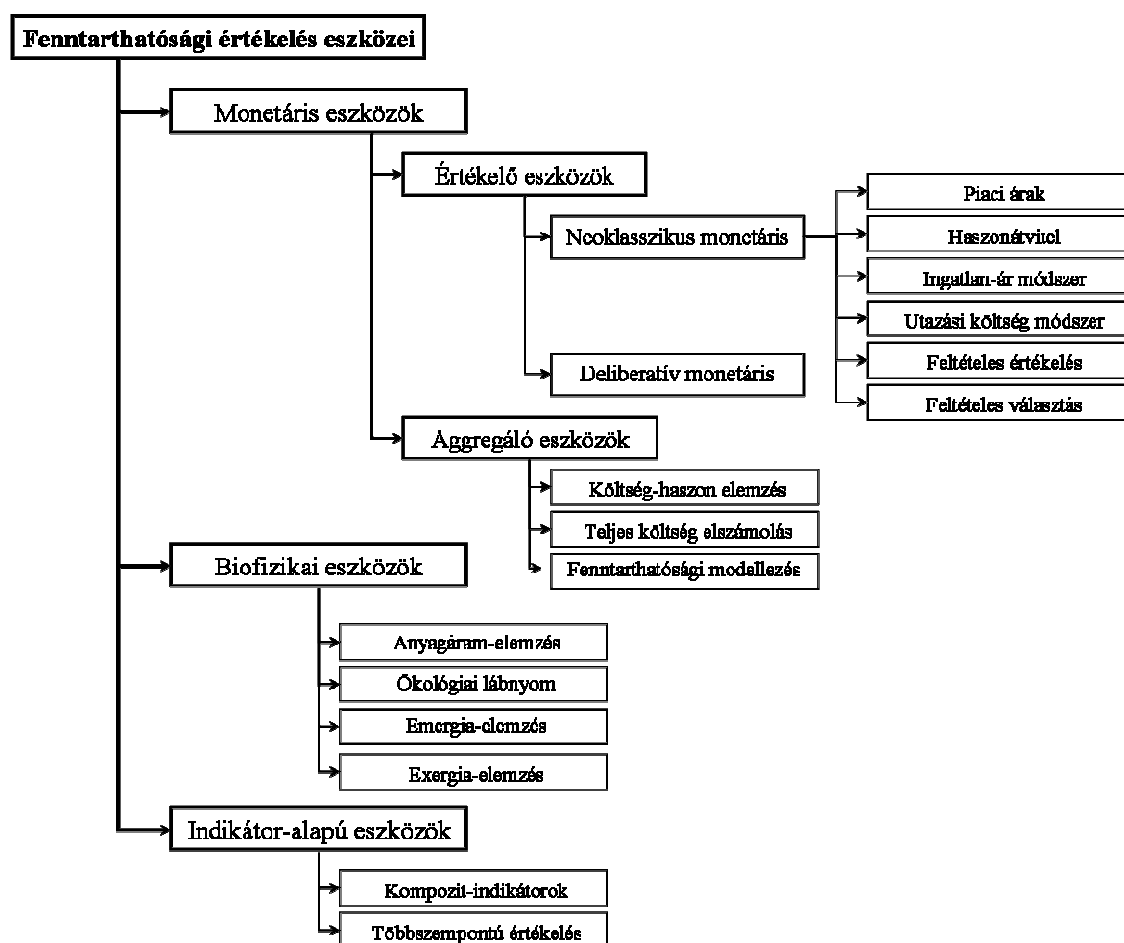
A fenntarthatósági értékeléseknek minden olyan esetben kimagasló jelentőséget tulajdoníthatunk, amikor a fenntarthatóság érdekében több, egymással helyettesíthető, előnyök és hátrányok tekintetében összevethető beruházást, műszaki megoldást vagy technológiát, tervet illetve politikát kell összehasonlítanunk. Jelen fejezetben bemutatom a fenntarthatósági értékelésben alkalmazott módszereket általában, illetve az energetika területén.

3.1. A fenntarthatósági értékelés módszerei

A fenntarthatósági értékelés 25 éves története során nem következett be az alkalmazható módszerek letisztulása (GASPARATOS – SCOLOBIG, 2012). Az eszközöket alapvetően három csoportra oszthatjuk (7. ábra): monetáris, biofizikai és indikátor-alapú eszközökre. Végző soron minden felsorolt eszköz a környezetgazdaságtan és az ökológiai gazdaságtan részletesen kimunkált és széles körben alkalmazott módszerei közé tartozik.

A biofizikai eszközök a fenntarthatóság minden dimenziójának egyidejű értékelésére kevésbé alkalmasak, mivel nehezen tudják kezelni azok társadalmi és gazdasági vonatkozásait. A monetáris értékelési eszközök az értékelő preferenciarendszerén alapulnak és a neoklasszikus eszközök esetében a maximális fizetési hajlandóság (Willingness-to-pay, WTP) felmérésére, míg az aggregált eszközök esetében az összesített társadalmi hasznosság meghatározására irányulnak (GASPARATOS – SCOLOBIG, 2012).

7. ábra: A fenntarthatósági értékelés eszközeinek csoportosítása



Forrás: GASPARATOS – SCOLOBIG, 2012

Az indikátor-alapú értékelési módszerek az értékelés tárgyát több, egymással nem összemérhető szempont alapján képesek összehasonlítani. Az értékelés „perspektívája”, tehát az egyes indikátorok dimenziójának összemérhetetlensége a normalizálás és aggregálás során kiegyensúlyozódik — ellentétben a monetarizáció káros antropocentrizációjával és a biofizikai eszközök egyértelmű ököcentrikusságával, ami viszont politikai szempontból nehezíti meg az értelmezést. A célorientált, tehát adott terület legjobb tervének/projektjének azonosítását célzó felmérések legmegfelelőbb eszközei a biofizikai és a többszemponútú értékelési eszközök (GASPARATOS – SCOLOBIG, 2012).

Az indikátor-alapú módszerek a döntéshozók számára is nagyobb segítséget nyújtanak a tendenciák és a különböző részterületek könnyebb nyomon követhetősége által (SINGH et al., 2011; KARCAGI-KOVÁTS, 2011). Mivel a fenntarthatóság kifejezetten

sokoldalú problémakör, célszerű előnyben részesíteni a többszemponútú értékelési módszereket. Az egy mutatót használó módszerek sok esetben nem szolgálnak megfelelő értékű információval (FRAME – O’CONNOR, 2011).

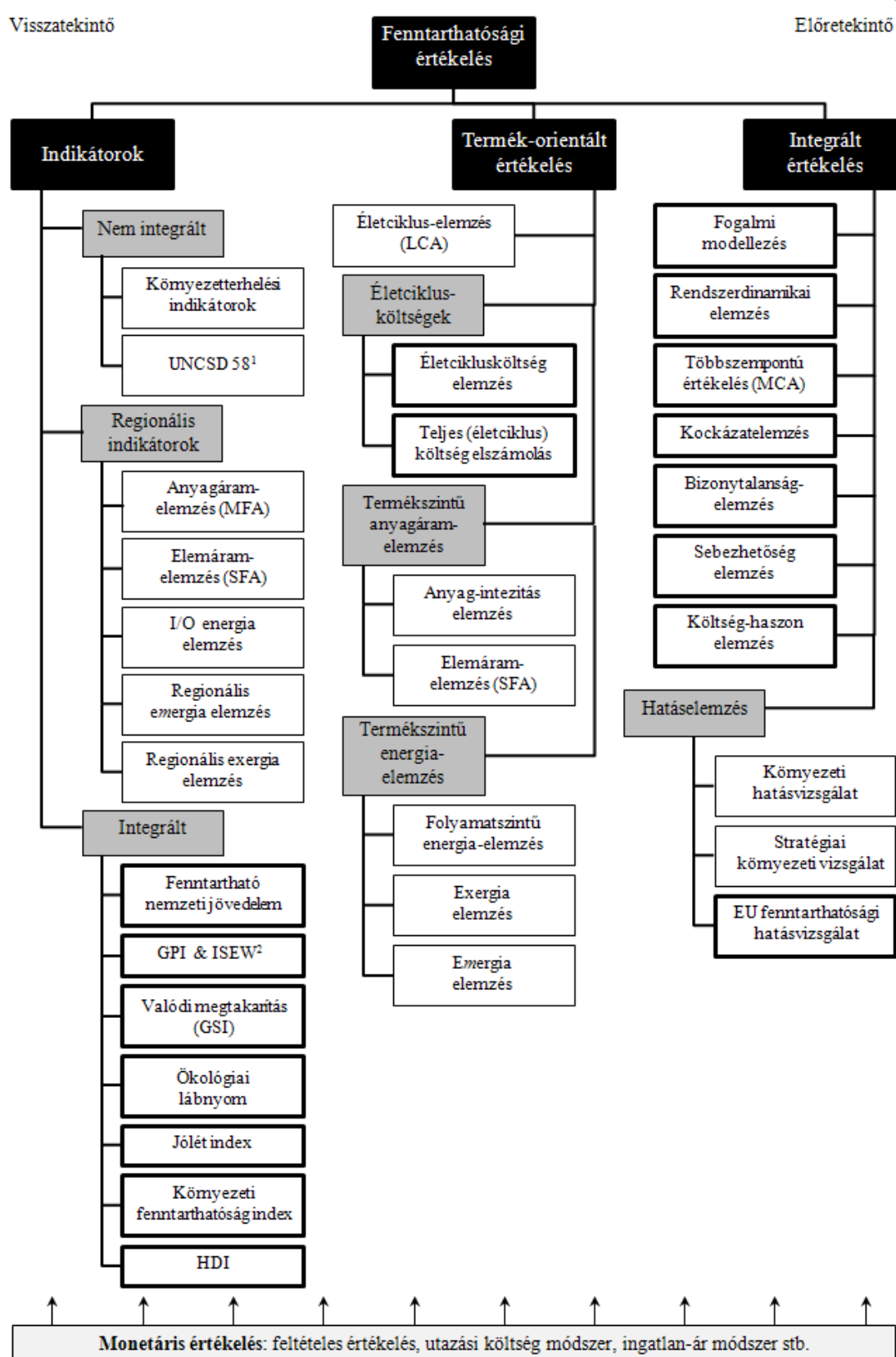
Jelen kutatás módszere alapvetően többszemponútú értékelés, hiszen a különböző környezeti, társadalmi és gazdasági hatásokat egy rendszerben képes összesíteni. Az összehasonlítás súlyai pedig az egyébként monetáris eszközként is alkalmazható feltételes választás segítségével kerültek meghatározásra.

NESS és mtsai (2007) szerint a fenntarthatósági értékelés célja a döntéshozók támogatása az emberiség-természet rendszer egészének szempontjából megfelelő döntések meghozatalában. A szerzők szerint a fenntarthatósági értékelés eszközeit az idősi (múltbéli, leíró, ex-post; vagy ex ante), a vizsgált terület (termék-orientált vagy ágazati, politikai mélységű), illetve a környezet-társadalom rendszer integrálásának mélysége különböztetik meg (NESS et al., 2007).

A lehetséges eszközök a **8. ábrán** figyelhetők meg. A monetáris értékelési eljárások a szerzők szerint átfogó módszerek, melyek bármelyik értékelési eszköz támogatására alkalmasak. Ezen logika mentén ide tartozik a kutatásom során felhasznált feltételes választás módszere is.

A klasszifikációban szereplő számos eszköz tulajdonképpen nem is képezi a fenntarthatósági értékelés eszköztárának részét, mivel több esetben is a fenntarthatóságnak csupán egy dimenziója jelenik meg a vizsgálatokban (pl. SFA, emergia elemzés, környezeti hatásvizsgálat). Ezen módszerek alkalmazása természetesen elengedhetetlen a környezetgazdaságtan területén, de az ágazati, vagy még összetettebb problémák elemzésére már nem megfelelőek. Az ábrán vastag vonallal határolt téglalapok jelölik azon módszereket, melyek alkalmasak az integrált, komplex vizsgálatokra.

8. ábra: A fenntarthatósági értékelés módszertani kerete NESS és mtsai szerint



¹ Az ENSZ Fenntartható Fejlődési Konferencia által monitorozott 58, nem aggregált környezeti, társadalmi és gazdasági indikátor-készlet

² Valódi fejlődés mutató és fenntartható gazdasági jólét indexe

Forrás: NESS et al., 2007; p. 500.

Az általam alkalmazott módszer – többszemponútú értékelés monetáris (eredetű) átfogó elemzési eszközzel támogatva (feltételes választás) – e klasszifikáció alapján előretekintő, integrált és döntéstámogatási értelemben széleskörű módszernek tekinthető, így teljes mértékben alkalmasnak bizonyulhat a kitűzött célok tekintetében.

BOND és MORRISON-SOUNDERS (2011) fontosnak tartják, hogy a ma ismert fenntarthatósági értékelés a környezeti hatásvizsgálatokból fejlődött ki. Úgy látják, hogy a fenntarthatóság pontos definíciójának hiánya okozza a fenntarthatósági értékelés sokszínűségét, s e módszer – mint döntéstámogató eszköz – még a módszertani fejlődés szakaszában van. A szerzők szerint az értékelések három „törésvonal” mentén oszthatók fel, ezek a redukcionista vagy holisztikus megközelítés, a fenntarthatóság értelmezése és az időhorizont.

A fenntarthatósági értékelési eszközök flexibilitása és szerteágazósága miatt célszerű azok integrálása (BUYTAERT et al., 2011; GASPARATOS – SCOLOBIG, 2012). BUYKAERT és kollégái (2011) a bioenergetika területén alkalmazható fenntarthatósági értékelési módszerek vizsgálatát végezték el, ami ezáltal „az értékelés értékeléseként” is értelmezhető. A szerzők úgy találták, hogy az elemzésbe bevont eszközök esetén a legtöbb esetben hiányzik a különböző tényezők súlyozása, illetve a társadalmi hatások értékelhetősége.

A társadalmi részvétel megfelelő szintjének megállapítása nehéz feladat a fenntarthatósági értékelések során, hiszen az ilyen döntések során magas fokú bizonytalanság illetve eltérő érdekek és értékek jellemzik az érintetteket (FRAME – O’CONNOR, 2011).

BEBBINGTON és mtsai (2007) hangsúlyozzák, hogy mivel a fenntartható fejlődés egy igen tág és interdiszciplináris problémakör, egyre nagyobb az igény a „részvételi és ideológiailag nyílt megközelítések” iránt (p. 225.). Nincs azonban konszenzus azt illetően, milyen mértékű társadalmi részvétellel érhető el más koordinációs mechanizmusoknál hatékonyabb társadalmi koordináció (FRAME – O’CONNOR, 2011). Amennyiben a döntési szituáció erősen hat a helyi lakosságra és más helyi érintettekre, fokozottan érdemes őket bevonni a döntéshozatalba (SZÁNTÓ, 2012). A

részvételi döntéshozás kifejezetten előnyös helyi vonatkozású ügyekben, ugyanis így várhatóan kisebb mértékű lesz az esetleges ellenállás a beruházással kapcsolatban (BURTON – HUBACEK, 2007).

A kérdést részletesen később is megvizsgálom disszertációmban (**4.2.1. alfejezet**), a magam részéről azonban a független szakértői tudásbázis domináns hasznosításában látom a helyes és felelős döntések zálogát. Vizsgálatom tárgya nem helyszínfüggő, közvetlen érintettekkel nem jellemezhető, ezért a társadalmi részvétel indirekt formáját választottam, mely hazai szakértők bevonásában testesül meg, segítve az esetleges későbbi (választott) döntéshozást.

Az alább bemutatott tanulmányok legnagyobb része valamilyen többszemponútú értékelést alkalmaz. Ezek három csoportba sorolhatók: hatásmátrix elemzésére irányuló módszerek, kompenzatórikus technikák és nem-kompenzatórikus módszerek (SZÁNTÓ, 2012). A hatásmátrix alkalmazása esetén a kutatók nem tesznek kísérletet az aggregálásra, ezért ezek leíró módszereknek minősülnek, melyekből nehéz a fenntarthatóság tekintetében következtetéseket levonni.

A kompenzatórikus módszerek lehetőséget adnak a fenntarthatóság valamelyik dimenziójának a kompenzációra az aggregálás során, amennyiben a másik kettő „alulteljesítene”: például egy beruházás igen pozitív gazdasági jellemzői háttérbe szoríthatják jelentős káros környezeti hatásait az értékelésben. Ily módon ezek a módszerek a gyenge fenntarthatóság követelményeinek felelnek meg (SZÁNTÓ, 2012).

A nem-kompenzatórikus módszerek közül vizsgálatom szempontjából a PROMETHEE modell érdemel említést, melynek nagy előnye, hogy kvalitatív, kvantitatív adatokat és skálákat egyaránt képes kezelni. A módszer a rangsort képző (outranking) eljárások közé tartozik, amellyel a változatok sorba rendezése végezhető el. Az alternatívákat a modellben páronként hasonlítjuk az értékelő preferenciarendszeréhez, ezáltal azonosítva az előnyösebb opciót (TSOUTSOS, 2009).

A PROMETHEE-hez elméleti alapjait tekintve közel áll az ELECTRE modell, amit azonban az elmúlt tíz évben nem alkalmaztak az energiagazdálkodás területén. A

PROMETHEE-hez viszonyítva a módszer igen bonyolult és átláthatatlan a döntéshozók számára (LOKEN, 2003).

A kompenzatórikus technikákat az angol nyelvű szakirodalom alapján többszemponútú döntéshozatali módszereknek is nevezhetjük (Multi Criteria Decisionmaking Aid/Analysis; MCDA), ezek fejlődése az elmúlt 40 évben töretlen számtalan alkalmazási területen (DIAS – DOMINGUES, 2014). Az MCDA módszerekett tovább bonthatjuk egyrészt, a „multiple objective decision-making” technikákra, ahol a vizsgált technológiák főbb jellemzőit előre nem határozzák meg, másrészt „multiple attribute decision-making” technikákra, amikor ezek előre determináltak (BURTON – HUBACEK, 2007). Az MCDA csoportjába tartozó módszer kiválasztásakor elsődleges szempont, hogy az értékelő „valódi értékeit” tudjuk feltárni, valódi preferenciarendszerét ismerjük meg, valamint hogy könnyen használható és könnyen értelmezhető legyen (LOKEN, 2007). Az MCDA módszerrel végzett fenntarthatósági értékelés főbb lépései a következők (ELGHALI et al., 2007):

- 1) döntési folyamat lehatárolása;
- 2) az összehasonlítandó lehetőségek meghatározása;
- 3) az értékelés kritériumainak felállítása;
- 4) lehetőségek értékelése (leírása, pontozása, paramétereinek megadása) a kritériumok tekintetében;
- 5) kritériumok súlyozása a döntésben betöltött szerepük alapján;
- 6) a kritériumok értékelésének korrigálása a súlyokkal;
- 7) az eredmények kiértékelése;
- 8) érzékenységvizsgálat (a lehetőségek kritérium-értékeinek és a súlyok változásának hatása az eredményre).

Nagy előnye az MCDA módszereknek, hogy bármilyen indikátorral mért jellemző beépítésére alkalmas, legyen az kvalitatív vagy kvantitatív, ha az alapvetően megfelel a tudományos (pl. redundancia hiánya, kettős számbavétel elkerülése), funkcionális (relevancia) és gyakorlati (pl. mérhetőség) kritériumoknak (BACHMANN, 2013).

A kompenzatórikus technikák közül az energiagazdálkodás területén leginkább alkalmazott módszerek az „analitikus hierarchikus eljárás” (Analythical Hierarchy

Process, AHP) és a „többszemponútú hasznossági modellek” (Multiple Attribute Utility, MAU). Előbbi a fenntarthatósági kritériumok és a lehetséges alternatívák páros összehasonlításán alapul, melyben a döntéshozóknak célok, kritériumok és alternatívák hierarchiáját kell létrehozniuk (CHATZIMOURATIDIS – PILAVACHI, 2009; SZÁNTÓ, 2012; TAN – PROMENTILLA, 2012). Az értékelés kritériumait kettesével, egytől kilencig terjedő verbális skálán kell fontosságuk szerint értékelni. A páros összehasonlítás a jellemzők súlyozásakor torzulásokhoz vezethet, mivel az összehasonlítást végző alany egyszerre csak két lehetőséget mérlegel.

A MAU az egyes alternatívákhoz köthető hasznosságra vezethető vissza és a döntéshozók preferenciarendszerére épít (RENN, 2003; ELGHALI et al., 2007; SZÁNTÓ, 2012;). Az általam használt értékelési módszer leginkább a MAU módszertanhoz hasonlítható, azzal a különbséggel, hogy esetemben az egyes kritériumok súlyainak felmérése indirekt módon, a feltételes választás módszerével történt, melynek elméleti gyökerei egyébként nagyon közel vannak a MAU teoretikai bázisához.

A kompenzatórikus technikák közé tartoznak továbbá az ideális/referencia pont módszerek (pl. VIKOR, TOPSIS módszerek), melyek a többszemponútú összehasonlítás kritériumaihoz egyenként rendelnek egy-egy optimálisnak vélt értéket, és az alternatívákat jellemzőik alapján ehhez viszonyítják. A módszer-csoport nem népszerű a környezeti problémák területén (SZÁNTÓ, 2012).

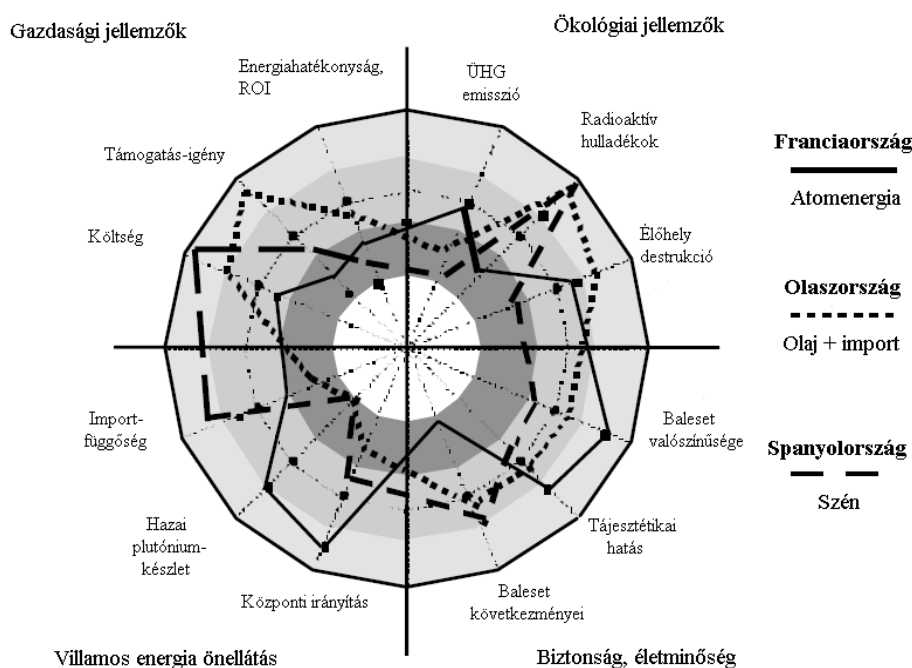
A többszemponútú értékelési módszerekben kiemelt jelentősége van az egyes kritériumok, tényezők, jelelemzők prioritásának, súlyainak. A súlyok definiálása vagy integrálva van a módszerbe (AHP, ELECTRE), vagy külön eljárás során kerülnek megállapításra a súlyok. Ebben az esetben az alábbi módszerek alkalmazása terjedt el. A közvetlen súlybecslés esetén a tényezők jelentőségét az értékelő állapítja meg, a Churmann-Ackroff-féle eljárások során a tényezőket fontosságuk alapján sorba kell rendezni Ez utóbbihoz hasonló a SMART módszer, itt viszont pontozzák a tényezőket. A Guilford módszerben páronként hasonlítják össze a jellemzőket és binárisan kódolják azokat (BOZÓKI, 2006; SIMONGÁTI, 2009).

3.2. Fenntarthatósági értékelés a megújuló energiaforrások hasznosítása terén

A fenntarthatósági értékelés a legtöbb esetben valamilyen természeti erőforrás használatának jellemzőire (mezőgazdaság, erdőgazdálkodás, halászat, turizmus); vagy technológiai fejlesztések optimális irányaira vonatkozik a városfejlesztés, építészet, avagy közlekedés terén. A továbbiakban azonban az energiagazdálkodás tekintetében releváns előzményeket mutatom be, azok közül is a megújuló energiaforrások szerepvállalását kutató felmérésekre koncentrálni. A magyar és a nemzetközi szakirodalmi közleményeket logikai sorrendben ismertetem azon módszerekkel végzett kutatások irányában, amelyek a legalkalmasabbak a komplex fenntarthatósági értékelésre.

A fenntarthatósági értékelések legegyszerűbb, ám viszonylag kevés információt szolgáltató módszerei a leíró jellegű értékelések. Jó példa ezekre GIAMPIETRO és mtsai (2006) tanulmánya, melyben Franciaország, Spanyolország és Olaszország villamos energiarendszereit értékelték ökológiai, társadalmi és gazdasági szempontból, az egyes tényezők egyenrangúságát feltételezve. Az értékelés grafikus ábrázolása látható a **9. ábrán**.

9. ábra: A villamos energia-rendszer többszemponútú értékelése



Forrás: GIAMPIETRO et al., 2006

Az ábrán három, különböző villamos energia-rendszerrel jellemezhető ország bemutatása követhető nyomon négy dimenzió, 12 tényező szerint. Az ábrában az origóhoz közelebbi értékek jelentik a negatív eredményt. Az energiarendszerek értékelhetők a dimenziók és kritériumok szerint külön-külön, de összességében ez már igen bonyolult lenne. Látható, hogy ilyen módon korlátozott információ nyerhető a vizsgált rendszer fenntarthatóságáról összességében, illetve súlyozás hiányában, a tényezőket egyenrangúnak feltételezve nincs lehetőség a fontosabb szempontok kiemelésére.

GIAMPIETRO és mtsai (2006) szerint a következő problémák kiküszöbölésére kell figyelemmel lenni a fenntarthatósági értékelések során: (i) az információ mennyiségi „végtelensége” az értékelés szempontjait illetően; (ii) a kritériumok összemérhetetlensége; (iii) az időhorizont különbsége; (iv) a probléma strukturáltságával kapcsolatos ismerethiány; (v) az adatok minősége; (vi) a döntéshozatal minősége és (vii) a bizonytalanság kezelése. Véleményem szerint az (v)(vii) pontok mindenféle értékelést terhelnek, a (vi) pont viszont nem az értékelés folyamatára vonatkozik, hanem a felhasználóra. Ebben a tekintetben az értékelést végző felelőssége az, hogy megfelelő alapossággal, értelmezhetően és a hiányosságokat is bemutatva interpretálja kutatását. A szerzők az értékelés átláthatóságára, dinamikusságára, a bizonytalanság kezelésére, mértékletességre a kritériumok tekintetében és a hasznosíthatóságra hívják fel a figyelmet (GIAMPIETRO et al., 2006).

A (i)-(iv) pontok viszont valódi feladatot jelentenek: e problémák kiküszöbölése végett mindenképpen kezelni kell a kritériumok hierarchiáját, aminek legjobb módja fontosságuk megállapítása. A fenntarthatósági értékelés módszerei ebbe az irányba haladnak, a legaktuálisabb feladat a kritériumok súlyozásának tudományosan megalapozott megoldása mint ahogy erre a fenti tanulmány közvetlenül és közvetve is rámutat.

A súlyozás azért kifejezetten nehéz feladat, mert mai tudásunk alapján szinte megállapíthatatlan a fenntarthatóság egyes aspektusainak egymáshoz viszonyított jelentősége abban a világméretű rendszerben, amit számtalan természet- és társadalomtudomány-terület vizsgál és politikailag számtalan ellenérdekelt féllel

jellemezhető. Disszertációmban a későbbiekben **(4.2.1. alfejezet)** bemutatom, hogy ez még az ökológiai dimenzióon belül is szinte megoldhatatlan feladat.

Fernando RIBEIRO és mtsai (2013) logikai modell segítségével mutatják be a megújuló energiaforrások hasznosításával kapcsolatos hatások várható láncolatát. A kvalitatív, szakirodalmi kutatáson és szakértői interjúkon alapuló logikai modell elsősorban a különböző kvantitatív módszereket is felvonultató fenntarthatósági értékelések megalapozására alkalmas, mivel segítségével jól strukturálható a döntések környezete. A szerzők szerint megújuló energiaforrásoknak köszönhető hosszú távú hatások: a szerzők szerint a fenntartható energiarendszer, a gazdasági növekedés és a magasabb életszínvonal (RIBEIRO et al., 2013).

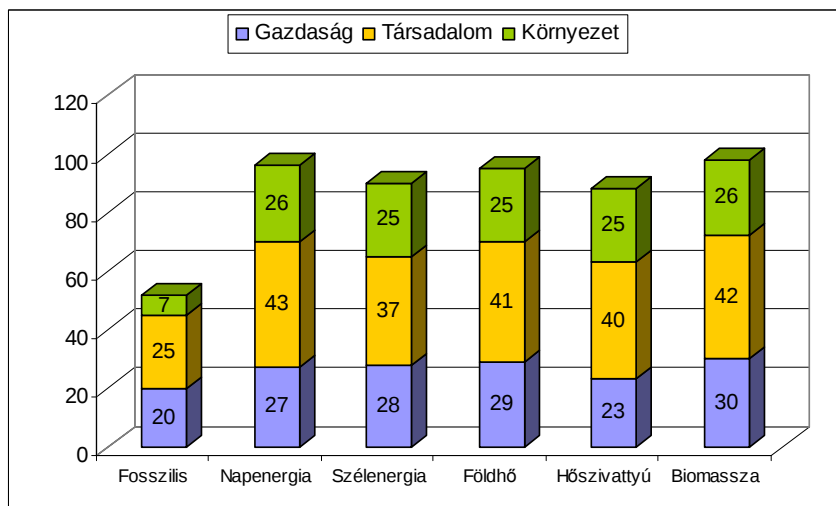
Az ausztráliai Victoria tagköztársaság biomassza-energetikai lehetőségeinek feltárását célozta a Crucible Carbon tanulmánya (2008), amelyet a 'Sustainable Viktoria' szervezet számára készítettek. Fenntarthatósági értékelésük egy leíró jellegű értékelés, mely során először a rendelkezésre álló biomassza-forrásokat hasonlítják össze legfontosabb kritériumaik alapján (pl. területfoglalás, energia-input, vízigény), majd a hasznosítás technológiáit és azok jellemzőit (hatásfok, termék értéke, fejlettség foka stb.).

A bioenergetikával kapcsolatos legfontosabb tényezők szerinti technológia-értékelést egy ún. „fenntarthatósági értékelőlap” ('sustainability scorecard') segítségével végezték el, amelyben egytől-ötig pontozták a lehetőségeket. Az értékelés inkább csak kiemeli az egyes opciók erősségeit és gyengeségeit, minthogy valódi döntéstámogató eszköz volna (CRUCIBLE CARBON, 2008). A többféle energiát előállító és a magasabb piaci értékű terméket szolgáltató technológiák (pl. pirolízis – villamos energia, hőenergia és hajtóanyag) társadalmi és gazdasági szempontból is előnyösebbnek tűnnek a vizsgálat szerint (CRUCIBLE CARBON, 2008).

A multifunkcionális erőforrás-analízis módszere, mely alapvetően a vidéki erőforrások hasznosítási lehetőségeinek értékelésére került megalkotásra (NAGY, 2007), egyfajta fenntarthatósági értékelésnek minősíthető. LUKÁCS (2009) az „energia lokális fejlesztő hatását” vizsgálta több gazdasági, társadalmi és környezeti jellemző alapján, külön-külön egytől ötig terjedő skálán. A módszer egyszerű, azonban nem kellően

alátámasztott, és a kis skálaosztás (1-5) miatt nem alkalmas az egyes technológiák közötti differenciálásra: az elérhető 115 pontot láthatóan minden megújuló technológia megközelíti, a legnagyobb eltérés közöttük mindössze 10% (**10. ábra**).

10. ábra: Az egyes technológiák lokális fejlesztő hatása



Forrás: LUKÁCS, 2009 alapján saját szerkesztés

STAMFORD és AZAPAGIC (2012) az Egyesült Királyság villamos energetikai fejlődési lehetőségeit (offshore szél, PV, atomenergia és földgáz) vizsgálták 43 darab, szakirodalmi kutatásra és szakértői véleményre alapozott indikátor segítségével. A bioenergiát a szerzők a „technológiai sokszínűség és az ezzel kapcsolatos adatproblémák” miatt hagyták ki a vizsgált opciók közül (STAMFORD – AZAPAGIC, 2012; p. 1265.).

Az eredmények 43 indikátor szerinti összesítésére, tehát a fenntarthatósági értékelés végső lépésére nem kerül sor a tanulmányban, mindössze a fenntarthatóság dimenzióiban mutatják be a szerzők a lehetséges technológiákat — külön-külön az egyes indikátorok értékei alapján. A tanulmány leginkább leíró értékelésként vehető figyelembe.

EVANS és mtsai (2009) a megújuló energiaforrásokra alapozott technológiákat „fenntarthatósági indikátorok” alapján értékelték, majd állítottak fel rangsort köztük. A szerzők indikátorai a következők: energia-előállítási költség, ÜHG-emisszió, elérhetőség és technológiai korlátok, hatásfok, területigény, vízfelhasználás, társadalmi

hatások. A különböző technológiák rangsora az eredmények tükrében, kezdve a leginkább fenntarthatóval: geotermikus, PV, vízenergia, szélenergia (EVANS et al., 2009).

A szerzők nem vették figyelembe a napenergia hasznosítását hő formájában és a biomasszára alapozott eljárásokat. A többszempontú értékeléses módszer hátránya a tanulmányban, hogy több „indikátor” értékelése is teljesen szubjektív módon történt (technológiai korlátok, társadalmi hatások), és az indikátorok egy része nem eléggé kidolgozott, pl. az energetikai jellemzéshez a hatások nem kielégítő.

Az alapkutatásokat végző külföldi kutatók a megújulókat pozitív hatásai közül más-más hatásokat emelnek ki. Az energiabiztonság, a regionális és vidékfejlesztő hatás, az iparfejlesztés és exportlehetőségek, valamint a munkahelyteremtés tartoznak a legfontosabbak közé DEL RIO – BURGUILLO (2008) szerint. Tanulmányuk az egyes megújuló energiaforrásokat hasznosító beruházások helyi társadalomra kifejtett hatás-vizsgálatára kínál módszertani keretet. A projektek „helyi hatásai” között a szerzők 11 hatást vettek figyelembe, pl. foglalkoztatásra gyakorolt hatást, társadalmi kohézió alakulását, a turizmusra gyakorolt hatásokat.

A szerzők egy másik közleményükben spanyolországi beruházások példáján mutatták be a módszer gyakorlati alkalmazását biomassza-, nap- és szélenergiára alapuló technológiák vizsgálatával (DEL RIO – BURGUILLO, 2009). A módszer hátránya, hogy egyedül a foglalkoztatási hatások vizsgálhatók kvantitatív eszközökkel, az imént említett, széleskörű – 14 különböző hatásra kiterjesztett – hatásvizsgálat kvalitatív eszközökkel, esettanulmányok útján zajlott, ezért a szubjektivitás problémája továbbra is jelentős maradt. A tanulmány szerint a legmagasabb munkahelyteremtő hatással a biodízel-előállítás jellemezhető. Általában a leginkább pozitív szocio-ökonómiai hatásúnak a szerzők az esettanulmányok alapján szintén a biodízelt tartják.

A társadalmi és a gazdasági dimenzió összekapcsolása a megújulókat tekintetében leggyakrabban a munkahelyteremtésben észlelhető (SEMBERY – TÓTH, 2004; VARGA – HOMONNAI, 2009). ULBERT és TAKÁCS (2008) az energetikai beruházások társadalmi hasznosságát vizsgálták, módszerük eredményeként megbecsülhető a beruházások hatására keletkezett többletjövedelem és költségvetési

bevétele. KOHLHEB és mtsai (2010) szintén a társadalmi hasznosság mérésére vállalkoztak, munkájuk kiváló áttekintése a téma külföldi szakirodalmának. Elkészítették saját értékelési módszerüket, melyben főként a gazdasági és foglalkoztatási hatásokra koncentrálnak. Az eredmények szerint kiemelkedő foglalkoztatási hatással bír a biogáz előállításának és felhasználásának technológiája, a vízerőművek és a biomassa-előállítás.

GÁCS Iván (2010) számításai már a fenntarthatóság három dimenziójának egyidejű figyelembevételét vetítik elő. A szélenergia „támogatás-igényét” számította ki abból kiindulva, hogy Ft/kWh fajlagos értékben kimutatva milyen mértékű előnnyel rendelkezik az általa kiváltott erőművi kapacitásokhoz képest. A szerző által vizsgált, gazdaságilag értékelt szempontok a külkereskedelmi mérleg javítása (földgázimport), a munkahelyteremtés, a szén-dioxid és egyéb emissziók csökkentése voltak.

BURTON és HUBACEK (2007) a társadalmi részvétel növekvő fontosságát hangsúlyozzák az olyan hosszú távú döntésekben, mint például az energiagazdálkodás jövője – ennek ellenére kutatásuk során a helyi lakosságot csupán mint „információforrást” vonták be. A tanulmány a helyi kormányzati szintek számára tesz javaslatokat a megújuló energiaforrások arányának növelése érdekében az angliai Kerklees példáján keresztül. A vázolt módszer kiválóan alkalmas kifejezetten lokális döntéshozatal támogatására.

A javasolt 8 technológiát költség-haszon elemzéssel kombinált MCDA segítségével hasonlították össze. Az értékelés szempontjai a következők voltak: beruházási költség, üzemeltetési költség, kapacitás, élettartam, ÜHG-emisszió, zajszennyezés, természeti hatások, szociális hatások. A költség-jellemzők egy forrás alapján, a nem-költség jellemzők pedig lakossági interjúkon végzett pontozással kaptak értéket. Mindez igen nagy rendelkezésre álló tudást feltételez a lakosság oldaláról, a lakosság legnagyobb része feltehetően nem jártas a különböző energiaátalakítási technológiák társadalmi, környezeti hatásai terén, vagy nem ítéli meg azt objektíven.

A tanulmány erőssége, hogy az egyes jellemzők súlyát az összehasonlításban három szakértő segítségével adták meg egytől tízig terjedő skálán. A fenntarthatósági értékelés

alapján a kisléptékű hasznosítás előnyösebb a terület lakói és szakértői szerint (PV, kis vízerőmű, szél erőmű) (BURTON – HUBACEK, 2007).

RIDEG András, DEUTSCH Nikolett és TORJAI László (2009) egy családi ház fűtési rendszerének két alternatíváját (hőszivattyú és napkollektoros rendszer) hasonlították össze többszemponútú értékelés segítségével pénzügyi, energetikai, környezeti és társadalmi jellemzők, összesen 11 attribútum alapján. Az indikátorok általában jól leírják a hatásokat – különösen a társadalmi hatások tekintetében (extern költségek és helyben maradó jövedelem) – de a környezeti indikátorok kizárólag a helyi hatásokra (emissziók) koncentrálnak.

A két rendszer értékeit az indikátorok tekintetében a piacon elérhető legjobb technológiához hasonlították a szerzők, a fenntarthatóság tényezőinek (indikátorcsoportok) súlyait pedig a tőketulajdonos adta meg a következőképpen: pénzügyi jellemzők (41%), energetikai jellemzők (18%), környezeti jellemzők (19%) és társadalmi jellemzők (22%). Ezen belül az egyes indikátorok súlyairól szintén a beruházó döntött, így a végső súlyok alapján a legjelentősebb a rendszer által elérhető megtakarítás nagysága (24%), a helyben maradt jövedelem (19,8%) és a fajlagos beruházási költség (16,4%). A szerzők – nagyon kis előnnyel – a napkollektoros rendszert javasolták megvalósításra (RIDEG et al., 2009).

Svájc lehetséges villamos energia rendszer-fejlesztési opcióit hasonlították össze ROTH és mtsai (2009) szintén MCDA megközelítésben. A szerzők 14 jellemzőt gyűjtöttek össze, arra koncentráltak, hogy a lehetséges fejlődési pályák összességében milyen hatást gyakorolnak az országra (pl. GDP-re, ökoszisztémára gyakorolt hatás, ill. társadalmi fejlődés). Ezen – egyébként nehezen számszerűsíthető – kritériumokat összesen 75 indikátorral írták le. A potenciális technológiákhoz ezek után értéket rendeltek a fenti indikátorok mindegyikét tekintve. A környezeti indikátorokat LCA segítségével adták meg, a társadalmi és gazdasági indikátorok értékeit pedig szakirodalmi kutatás és szakértői konzultáció alapján adták meg a szerzők.

SCHENLER és mtsai (2009) a NEEDS³ Európai Unió kutatási projekt keretében villamos energetikai technológiák értékelését végezték el MCDA módszerrel, 36 indikátor segítségével. A kutatás során szakértőket kértek fel a technológiai jellemzők és a technológiák közvetlen, pontozásos-rangsorolós értékelésére. Az eredmények szempontjából véleményem szerint igen nagy hátránya a preferenciák felmérését célzó on-line felületnek, hogy a válaszadóknak megengedte a rangsorolás és pontozás többszöri elvégzését, és csak egy végső, a szakértők által megfelelőnek nyilvánított verziót (technológiai rangsort) rögzítését végezte el. A kutatók a módszer tanulási folyamat funkcióját hangsúlyozzák.

A felmérésben részt vevő válaszadók nem kifejezetten emeltek ki fontosságuk alapján jellemzőket. A nullától nyolcig terjedő, fontosságot meghatározó skálán a legtöbb jellemző medián értéke az „átlagos”, 5 számértékkel jellemezhető jelentőséggel bírt. A „környezet” és a „szén-dioxid kibocsátás” mint jellemző-csoportok jelentősége kiemelkedő (7-es érték). A technológiák közül egyértelműen kiemelkedik a napenergia hasznosítása, különösen előnyös a naperőművek megítélése (SCHENLER et al., 2009). A vízerőműveket nem vonták be az értékelésbe.

A lehetséges technológiák között fosszilis energiahordozók (atom, szén, gáz) és megújuló energiaforrások precízen leírt átalakításai módjait sorakoztatták fel. Az egyes indikátorok jelentőségét az értékelést végzők különböző workshopokon, például Svájc legnagyobb energiaipari szolgáltatója (Axpo) küldötteinek részvételével súlyozták, nulla és száz közötti értékekkel. Ebben a csoportban a környezeti jellemzőket összességében 36%-os, a társadalmi jellemzőket 29%-os és a gazdasági jellemzőket 35%-os súlyokkal látták el. Ebből a súlyozásból adódóan a legelőnyösebb technológiák az átfolyós vízerőmű, a duzzasztásos vízerőmű, a geotermikus hőhasznosítás és a biogázüzemek (CHP). Az atomenergia megelőzi a szél- és napenergia-hasznosítást is (ROTH et al., 2009).

Az optimális támogatási rendszer modellezését tűzték ki célul MADLENER – STAGL (2005) a technológiák többszemponútú értékelésére alapozott rangsorolása által. A tanulmányban 14 technológia 24 jellemzőjét hasonlították össze PROMETHEE

³ New Energy Externalities Development for Sustainability

módszerrel, sajnos a társadalmi hatások figyelembevétele nélkül. A vizsgálat során egységnyi súly került definiálásra minden tényező tekintetében, ami azonban deliberatív folyamat segítségével – tehát a lakosság bevonását biztosító döntéshozatal által – differenciálható. Az értékelés szerint a legelőnyösebbek a különböző kis vízerőművi technológiák, és a legkevésbé előnyösek a PV technológiák.

A társadalmi konszenzus és a környezetterhelés csökkentése elsődleges a jövőre vonatkozó energiagazdálkodási döntések esetén (TSOUTSOS et al., 2009). A szerzők négy fejlesztési lehetőség szocio-ökonómiai és környezeti hasznát elemezték MCDA megközelítésben, szintén PROMETHEE modell alkalmazásával. A szerzők három kvantitatív (költségek, konvencionális tüzelőanyag-megtakarítás és szén-dioxid kibocsátás megatakarítás), valamint négy kvalitatív kritériumot építettek be a modellbe (technológiai fejlettség, ellátásbiztonság, társadalmi elfogadottság, ill. lokális fejlesztés és jólét). A kvalitatív jellemzőket ötfokú skálán értékelték.

A tanulmány nagy erőssége a különböző érdekcsoportok preferenciáinak feltárása az egyes kritériumok tekintetében. Kitűnően megfigyelhető például a helyi lakosok és a potenciális befektetők érdekütközése a gazdasági és a társadalmi jellemzők súlyozásának függvényében. A tudományos intézmények súlyai egyenlő arányban oszlanak meg az ökonómiai-technológiai jellemzők tekintetében (10,7%), az ellátásbiztonság és a CO₂-emisszió súlyai 23,2%, a legkevésbé fontos a lokális fejlődés (3,6%), míg a társadalmi elfogadottság jelentősége 17,9% (TSOUTSOS et al., 2009).

A lehetséges fejlesztési változatok közül az értékelés szerint a két legelőnyösebb a szélerenergia, bioenergia és PV keverék, a harmadik a rangsorban a tisztán szélerenergiára alapozott fejlesztés, és a leggyengébb lehetőség a szélerenergiát és PV hasznosítást tartalmazó mix (TSOUTSOS et al., 2009).

GHAFGHAZI és mtsai. (2010) négy lehetséges távfűtési energiakeverék hat kritérium szerinti fenntarthatósági értékelését végezték el PROMETHEE módszerrel Vancouver (Kanada) egyik új lakóövezetének példáján. A szerzők a kutatás során azt is vizsgálták, mennyire változik az értékelésbe bevont résztvevők preferenciarendszere a kommunikáció következtében, egy közös konzultáció után. A kritériumok súlyainak megállapítása a „várható érték módszer” ('expected value method') használatával

történt, melynek során az értékelő által megadott kritérium-sorrendből alakítanak ki súlyokat, a fontossági sorrend növekedésével egyre növekvő értékben.

A szerzők a stakeholderek három csoportját azonosították, ezek a fejlesztők, a környezetvédelmi szervezetek és a lakosság. A hat kritérium pedig a költség, az ÜHG kibocsátás, szálló por, technológiai fejlettség (1-5 skálán), helyi erőforrások használata és közlekedési terhelés (mindkettő bináris kritérium). Az ÜHG-kibocsátás a szerzők szerint a globális, míg a por emisszió a lokális környezeti hatásokat reprezentálja, ami a környezeti aspektus jelentős leegyszerűsítését jelenti.

Konzultáció előtt a súlyok az érdekeknek megfelelően alakultak: a fejlesztők számára a költségek 41, míg a technológiai fejlettség 24%-kal voltak a legfontosabb tényezők. A környezetvédelmi csoportok számára – ugyanilyen megoszlásban – az ÜHG és a szállópor-emisszió voltak a legfontosabbak, a lakosság számára pedig a szálló por (41%) és a helyi erőforrások használata, illetve a közlekedési terhelés (21-21%). A konzultációt követően a súlyok nem változtak nagymértékben, mindössze a lakosság lett „elfogadóbb” a másik két csoport preferenciáit illetően, aminek következtében kiegyenlített súlyokat adtak a kritériumoknak (GHAFGHAZI et al., 2010).

4. táblázat: A változatok rangsorolása a PROMETHEE modellben

	Rangsor			
	1.	2.	3.	4.
Konzultáció nélkül				
Fejlesztők	Biomassza $\Phi = 0,47$	Földgáz $\Phi = 0,21$	Hulladékhasznosítás $\Phi = -0,13$	Geotermikus $\Phi = -0,54$
Környezetvédelmi szervezetek	Hulladékhasznosítás $\Phi = 0,35$	Geotermikus $\Phi = 0,14$	Biomassza $\Phi = -0,17$	Földgáz $\Phi = -0,54$
Lakosság	Biomassza $\Phi = 0,37$	Földgáz $\Phi = 0,30$	Hulladékhasznosítás $\Phi = -0,27$	Geotermikus $\Phi = -0,40$
Konzultációval				
Fejlesztők	Biomassza $\Phi = 0,70$	Hulladékhasznosítás $\Phi = 0,22$	Földgáz $\Phi = -0,22$	Geotermikus $\Phi = -0,71$
Környezetvédelmi szervezetek	Biomassza $\Phi = 0,63$	Hulladékhasznosítás $\Phi = 0,12$	Geotermikus $\Phi = -0,31$	Földgáz $\Phi = -0,45$
Lakosság	Biomassza $\Phi = 0,68$	Hulladékhasznosítás $\Phi = -0,08$	Földgáz $\Phi = -0,22$	Geotermikus $\Phi = -0,38$

Forrás: GHAFGHAZI et al., 2010

A négy lehetséges távhőrendszer fejlesztési változat (földgáz, hulladékhasznosítás, geotermikus, biomassa) rangsora megváltozott a csoportok interaktív eszmecseréjét követően (**4. táblázat**). A legelőnyösebb változat azonban általában a biomassa-fűtőmű építése, és legkevésbé attraktív a geotermikus fűtőmű. A bemutatott módszer nagy előnye, hogy a változások relatív rangsorolására is alkalmas a Φ -vel jelölt nettó döntési folyam ('net flow') által, ami az adott változat más változatokkal szembeni preferenciájának és diszpreferenciájának számszerűsített különbsége.

A VIKOR módszer (ideális/referencia pont módszer) egyetlen energiagazdálkodási alkalmazás SAN CRISTÓBAL (2011) nevéhez köthető. Tanulmányában 13 villamos energia előállítási technológiát vizsgált 7 attribútum figyelembevételével (kapacitás, fajlagos beruházás, működési időtartam, élettartam, működési élettartam, üzemeltetési költségek és szén-dioxid emisszió elkerülése). Az attribútumok nem megfelelőek a fenntarthatósági értékelés szempontjából, a műszaki jellemzőkre koncentrálnak és a társadalmi dimenziót egyáltalán nem írják le. A felmérés alapján az ideális technológiához az 50 MW-nál nagyobb hőerőmű, biomassa együttesítéssel áll a legközelebb (SAN CRISTÓBAL, 2011).

A kritérium-súlyok meghatározása a VIKOR módszerrel nem lehetséges, ezért az értékelést végző kutatónak ezt egyéb úton, például AHP segítségével kell megoldania, ezáltal a két, egyenként sem egyszerű matematikai apparátussal rendelkező módszer meglehetősen átláthatatlanná és bonyolulttá teszi a folyamatot.

CHATZIMOURATIDIS és PILAVACHI (2009) különböző fosszilis és megújuló villamos energiaforrásokat vetettek össze. Az összehasonlítás alapját képező jellemzők súlyait AHP módszer segítségével határozták meg. Az előnyösebb források – csökkenő sorrendben – a víz-, a geotermikus, a szél-, a bio- és a napenergia (PV) (CHATZIMOURATIDIS – PILAVACHI, 2009). A fenntarthatósági jellemzők azonban alulreprezentáltak a gazdasági célokhoz képest: a szerzők a fenntarthatóságot a rendelkezésre állási rátával azonosítják (készletek / felhasználás). A tanulmány kifejezetten technológiai jellemzőket társít – hibásan – a fenntarthatósághoz, a hatásfokot, a működési időtartamot és hatékonyságot, melyek terén sok esetben a fosszilis energiahordozókat hasznosító technológiák nyilvánvalóan előnyösebbek. A nem megfelelő attribútum-struktúra ellenére azért lehetséges a megújuló

energiaforrások magasabb értéke az összehasonlításban, mert a rendelkezésre állás súlya 55%, tehát egymaga fontosabb a többi nyolc kritériumnál (CHATZIMOOURATIDIS – PILAVACHI, 2009).

FRANGOPOULOS (2011) az üzemanyag-felhasználás, az energia-megtakarítás, a kibocsátások és az explicit, ill. externális költségek alapján, összesen 10 indikátor segítségével elemezte egy épületegyüttes lehetséges három fűtési lehetőségét. Az indikátorok súlyozása AHP segítségével történt. A szerzők az egyes kritériumok (indikátorok) súlyait nem közölték, az eredmények alapján azonban elmondható a potenciális beruházásokról, hogy fenntarthatósági szempontból a legelőnyösebb a földgáztüzelésű kogenerációs kazán (villamos, ill. hőenergia) és a hulladékhőre alapozott abszorpciós hűtés rendszere, ezt követi a kogenerációs kazán és villamosenergia-hálózatról táplált hűtés rendszere. A legelőnytelenebb változat pedig a földgáztüzelésű kazán és hálózati villamos energia felvétel, hűtési és használati célra egyaránt (FRANGOPOULOS, 2011).

DEUTSCH Nikolett (2011) „A technológiai rendszerek innovációja – Az elosztott villamosenergia-termelési technológiák fenntarthatósági értékelése és rendszerinnovációs potenciáljának vizsgálata az Európai Unióban” című disszertációjában 20 különböző villamos energia előállítási technológia fenntarthatósági értékelését végezte AHP segítségével. Az indikátorrendszer úgy került kialakításra, hogy az indikátorok száma ne legyen kezelhetetlenül magas, kellő mértékben segítsék a döntéshozókat, ne legyen átfedés az indikátorok között és elérhető információval leírhatóak legyenek (DEUTSCH, 2011). Végül műszaki, gazdasági, környezeti és társadalmi szempontok kerültek kialakításra, melyeket figyelembe véve a szerző összesen 34 darab indikátorral írta le a villamos energia technológiákat.

Az indikátorok súlyainak meghatározását ezután DEUTSCH (2011) úgy végezte el, hogy a négy főcsoport az értékelő által került súlyozásra, míg az ezen belüli indikátorokat Guilford-féle páros összehasonlítással súlyozta 13 szakértő megkérdezésével⁴. A súlyokat az **5. táblázat** tartalmazza. A technológiák értékelése tényadatok vagy skálák alapján történt.

⁴ Az AHP általános összehasonlításához hasonló módszer.

5. táblázat: Az indikátorok súlyai a dimenziókon belül, %

		Dimenzió			
		Gazdasági	Energetikai	Társadalmi	Környezeti
27	Beruházási költség				
27	Üzemeltetési költség				
13	Externális költség				
12	Áremelkedés kockázat				
2	Kiépítési idő				
4	Munkahelyteremtés				
16	Importfüggőség				
17	Villamos hatékonyság				
13	Kapcsolt hatékonyság				
18	Energiamegtérülési ráta				
5	Technológiai fejlettség				
6	Rendszerszabályozás				
6	Elérhetőség				
11	Ütemezhetőség				
2	Kiszabályozás				
12	Tartaléktartási igény				
11	Terheléskövetés				
6	Területigény				
2	Esztétikai hatás				
9	Zajhatás				
18	Konfliktus (ellenállás)				
12	Társadalmi részvétel				
12	Kockázatvállalási igény				
9	Személyes irányítási igénye				
24	Katasztrófa potenciál				
7	Képzési igény				
26	ÜHG hatás				
2	Porszennyezés				
3	NM VOC				
15	Savasodás				
6	Nitrátosodás				
12	Hulladékelhelyezés				
34	Egészségügyi hatás				
2	Funkcionális hatás				

Forrás: DEUTSCH, 2011

A szakértők által, főcsoportonként külön-külön súlyozott indikátorok súlyainak összege az egyes főcsoportokban mindig 100%, így ezek jelentősége csak egymással vethető össze közvetlenül. Például nem tudjuk, milyen jelentőségű az ÜHG kibocsátás a beruházási költséghez képest, csak azt, mennyire fontos a hulladék-elhelyezéssel összemérve. A gazdasági dimenzióon belül az explicit költségeknek nagy a jelentősége, míg az energetikai főcsoporton belül az energiahatékonyság három indikátorának. A társadalmi aspektusban a katasztrófapotenciál és a társadalmi elfogadottság számít leginkább, a környezeti jellemzők közül pedig az egészségügyi hatás, és csak ezt követően az ÜHG emisszió (DEUTSCH, 2011).

A fő indikátorcsoportok különböző súlyai esetén tapasztalható technológiai sorrend megfigyelhető a **6. táblázatban**. Az öt főcsoport-súlyozási verzióban (**I. – V.**) a gazdasági (**W_G**), energetikai (**W_E**), társadalmi (**W_T**) és környezeti (**W_K**) dimenzióknak a szerző különböző súlyt határozott meg.

Az **I.** esetben a súlyok egyenlők. Ebben az esetben a vízerőművek és a földgáztüzelésű erőművek a legelőnyösebbek, míg a gazdasági orientáltságú változatban (**II.**) a földgázalapú technológiák hátrább szorultak. Energetikai, társadalmi és környezeti szempontból egyaránt a vízerőművek jelentik a legjobb megoldást. (DEUTSCH, 2011).

6. táblázat: Az egyes technológiák fenntarthatósági sorrendje

Alternatíva meghatározás	I. $(w_1=w_2=w_3=w_4)$		II. $w_G=0,7$ $0,1=w_E=w_T=w_K$		III. $w_E=0,7$ $0,1=w_G=w_K=w_T$		IV. $w_T=0,7$ $0,1=w_G=w_E=w_K$		V. $w_K=0,7$ $0,1=w_G=w_E=w_T$	
	Érték	Sorrend	Érték	Sorrend	Érték	Sorrend	Érték	Sorrend	Érték	Sorrend
Átfolyós nagy vízerőmű	15,86	1	11,87	1	16,04	1	23,44	2	12,09	1
Atomerőmű	58,36	19	53,87	15	50,1,6	15	77,08	20	53,33	17
Biomassza égetéses rendszerek	44,13	14	60,69	17	41,36	8	40,49	14	33,98	13
Dízel-motoros (CHP)	33,23	6	34,02	9	40,28	6	24,48	4	34,14	14
Ellennyomósos turbina (CHP)	34,20	8	36,55	11	47,92	13	27,51	9	25,82	9
CCGT (CHP)	34,93	10	34,81	8	36,08	4	35,76	11	33,06	12
Geotermikus erőművek	44,22	15	47,51	14	63,99	17	38,74	12	26,62	10
Kisteljesítményű vízerőmű	18,00	2	15,59	3	22,75	3	20,61	1	13,06	2
Kondenzátorturbina (CHP)	32,23	4	35,76	10	41,38	9	26,72	7	25,07	7
Konvencionális földgázégetéses rendszerek	52,00	16	58,67	16	47,71	12	49,35	16	52,29	16
Konvencionális szénégetéses rendszerek	62,87	20	68,71	20	51,96	16	56,46	19	74,33	20
Microturbunák (CHP)	32,75	5	37,36	12	41,01	7	26,93	8	25,60	8
Napelemes rendszerek	37,76	12	31,63	5	73,54	20	25,95	6	19,92	4
Olajégetéses rendszerek	55,77	18	64,99	19	49,24	14	50,86	17	57,96	19
Otto_motoros CHP	34,90	9	33,35	6	40,06	5	25,60	5	40,59	15
Szél erőművek	43,02	13	35,30	9	71,05	19	42,89	15	22,85	6
Szén IGCC	54,31	17	62,67	18	47,32	11	51,46	18	55,78	18
Szólártermikus rendszerek	33,57	7	18,41	4	71,00	18	23,43	3	21,45	5
Tározós nagy vízerőmű	21,73	3	14,94	2	17,33	2	39,99	13	14,76	3
Tüzelőanyagcella (CHP)	35,17	11	40,64	13	44,26	10	28,74	10	27,03	11

Forrás: DEUTSCH, 2011

Az elmosódott halmazok elmélete általi, vagy fuzzy logikai, fuzzy matematikai (fuzzy logic, fuzzy mathematics) megközelítés segíthet az összehasonlítást⁵ nehezítő fogalmi bizonytalanságok kezelésében, melyek torzíthatják az értékelés eredményeit. Nem mindenkinek jelenti ugyanazt egy alternatíva „előnyös” vagy „előnytelen” minősége.

A fuzzy logika jelentősége jelen vizsgálatban abban állhat, hogy az alternatívák összehasonlítása során a bináris előnyösségi reláció árnyalható általa (SHEN et al., 2010; VINODH, 2011). A fuzzy AHP a klasszikus AHP-től leginkább abban különbözik, hogy a súlyok definiálásánál a páros összehasonlítás során az egytől kilencig terjedő skála nyelvi jelentéseit (nem fontos, fontos, nagyon fontos stb.) szofisztikált formában képes számoknak megfeleltetni⁶. REN és mtsai (2013) szintén

⁵ Pl. páros összehasonlítás az AHP-ben

⁶ 1, 2, 3... tőszámok helyett $n \times 3$ típusú mátrix segítségével, ahol például az „előnytelen” relációnak három fokozata definiálható: 1,1,1; 1,1,2; 1,1,3.

fuzzy logikai megközelítésben vizsgálták a hidrogén-előállítás lehetőségeit. Mivel itt számos különböző technológia ismert, melyek nehezen összehasonlíthatók a különböző jellemzők alapján, fontos a fenntarthatósági értékelés alkalmazása.

Különböző politikai prioritások, célok tekintetében különböző megújuló energiaforrás-keverék lehet a kívánatos egy adott gazdaság számára (SHEN et al., 2010). A szerzők Tajvan lehetőségeit vizsgálták fuzzy AHP segítségével a hat alapvető megújuló energiaforrás tekintetében, hazai szakértők bevonásával. Az értékelés kritériuma 4-4 energetikai és környezeti, illetve 6 gazdasági kritérium volt. A gazdasági jellemzők között szerepelnek általam inkább a társadalmihoz sorolt tényezők, a munkahelyteremtés és a helyi gazdaságfejlesztés.

A tanulmány gyengesége, hogy energiaforrás-, és nem technológiaorientált, ami nehezíti a következtetést, hiszen az egyes forrásokon belül a különböző technológiák „fenntarthatósági teljesítménye” igen eltérő lehet. Ebből ered az a gyengeség is, hogy az energiaforrások értékelése ötfokú skálán történt tényadatok helyett, ami jelentősen torzítja az értékelést.

A fuzzy AHP során nyert súlyok közül a „természeti fenntarthatóságé” volt a legmagasabb (14,3%). Magas volt a szén-dioxid kibocsátás csökkentésének (12,2%) és az ellátásbiztonságnak (11,9%) a súlya, míg a legalacsonyabb jelentőségűnek az alacsony energiaárak (4,3%) és a munkahelyteremtés (4,1%) bizonyult (SHEN et al., 2010). Az energiaforrások fenntarthatósági értékelése a **7. táblázat**ban látható. A legelőnyösebbek e kutatás szerint a víz-, a nap- és a szélenergia (SHEN et al., 2010).

7. táblázat: A megújuló energiaforrások rangsora

Energiaforrás	Pont	Rangsor
Napenergia	5,866	2
Biomassza	4,906	5
Geotermikus energia	5,190	4
Tengeri energiák	4,882	6
Szélenergia	5,729	3
Vízenergia	6,005	1

Forrás: SHEN et al., 2010

ELGHALI és mtsai (2007) a bioenergetikai szektor fenntarthatósági értékelésének igen komplex, MCDA megközelítésű módszertani keretét mutatják be. A tanulmány jó példa a különböző fenntarthatósági értékelési eszközök kombinációjára: a környezeti hatások vizsgálata LCA módszerrel történik.

Ortwin RENN (2003) az energetikai hulladékhasznosítás lehetőségeit vetette össze négy különböző energiagazdálkodási scenárióban MAU értékelés alkalmazásával. Az értékelés széleskörű társadalmi részvétel mellett valósult meg: a kritériumok kialakításában a szakértők, energiaipari vállalkozók és a lakosság mellett az egyházak képviselői is részt vettek. Az értékelést két csoport végezte, egy mérnökökből és egy egyházi képviselőkből álló csoport. A résztvevőknek a kritériumok három szintjén, összesen 74 kritérium szerint kellett értékelniük az egyes forgatókönyveket 0-100 pontintervallumban (RENN, 2003), ami feltehetően elég nehéz feladat volt. Ezenkívül a megkérdezetteknek az összes kritérium önálló súlyáról is nyilatkozniuk kellett. A módszer meglehetősen nehézkesnek tűnik: nehezen tartható ennyi kritérium súlyozásának konzisztenciája.

A mérnökök körében a legkedveltebb az „Új életvitel” nevű forgatókönyv volt, melyben az energiaigények jelentős csökkenésével kalkuláltak. A BAU scenárió és az intenzíven atomenergiára építő forgatókönyvek alig maradtak el ettől a nyilvánvalóan kívánatos jövőképtől, ezek pontszáma 76,69 és 77,66 az „Új életvitel” pontszámával (87,72) szemben. A kritériumok súlyozását tekintve a hét legfontosabb jellemző környezeti jellegű volt (RENN, 2003).

3.3. A fenntarthatósági értékelés kulcskérdései

A fentebb bemutatott közlemények alapján a fenntarthatósági értékelés módszerének és az értékelés pontos elvégzésének három fő kritériuma körvonalazódik.

- 1) **Komplex értékelés:** a fenntarthatóság minden dimenzióját integrálni kell az elemzésbe, ezért olyan módszer alkalmazása ajánlott, amely erre alkalmas. A monetarizáción és a biofizikai mutatókon alapuló módszereknél ez a feltétel nem teljesül, mivel valamelyik dimenzió bevonása az értékelésbe torzul. Valamilyen indikátor-alapú vagy többszemponútú értékelési módszerre van tehát szükség.
- 2) **Relatív rangsor:** A fenntarthatósági értékelés sokrétű céljainak nem felelnek meg azok a módszerek, amelyek csupán a lehetőségek rangsorát adják meg. Stratégiai, politikai szempontból fontos az opciók relatív távolságának, rangsorának ismerete, jelesül hogy melyik technológia milyen mértékű előnyökkel jellemezhető a másikkal szemben fenntarthatóság szempontjából – adott gazdasági, műszaki, jogi környezetben. Ezen okból kifolyólag a tisztán pontozásos és rangsorolós eszközök kerülendők.
- 3) **Súlyozás:** A fenntarthatósági értékelés kulcsa az értékelt változatok jellemzőinek súlyozása, azok jelentőségének kifejezése. Ennek elvégzése történhet önkényesen (indikátor-alapú módszerek), illetve valamilyen külső információ bevonásával (szakértők, lakosság, kutatók), annak matematikai feldolgozásával. A súlyozás ez utóbbi esetben tekinthető megalapozottabbnak. A tényezők súlyait az eddigi módszerek alapján csupán valamilyen skála segítségével lehet értelmezni (BOZÓKI, 2006).

A fent felsorolt három kritérium mindegyikét az energiagazdálkodás területén az elmúlt tíz évben intenzíven alkalmazott módszerek közül a PROMETHEE és az AHP elégíti ki. A súlyozás mindkettő esetében lehetséges, ráadásul erre a megfelelő információ és tudás birtokában lévő csoportok felkérhetők. A súlyozás hátránya azonban mindkét esetben az, hogy (i) a jelentősebb tényezők előzetes és nyílt deklarálása (PROMETHEE) vagy a jellemzők páronkénti összehasonlítása (AHP) a megkérdezettek által torzításhoz

vezethet; valamint (ii) a súlyok értéke diszkrét változó, ami csökkenti az eredmények diverzitását a relatív rangsorban. A diszkrét súlyok alkalmazása a fenntarthatósági értékelés relatív rangsorát valamilyen mértékben determinálja, mert a súly értéke nem változhat „szabadon” (folytonosan).

A kutatás módszerének kialakításakor a fenti két probléma kiküszöbölését tűztem ki célul, tehát hogy a súlyok a lehető legpontosabban és folytonos változóként kerüljenek feltárássra. Az értékelés többi része – a technológiák leírása az indikátorok értékeivel, azok normalizálása és aggregálása, valamint a relatív rangsor kialakítása – komolyabb nehézséget nem jelentenek.

Megfelelő megoldásként a súlyok megállapítására a feltételes választás ('Choice Experiment', CE) módszerét választottam (**4.3. alfejezet**), mely alkalmas a válaszadók preferenciáinak pontosabb feltárássra véges számú jellemzőt, attribútumot illetően. Az AHP és a PROMETHEE véges számú súlykombinációival ellentétben a feltételes választás során folytonos súlyok alakulhatnak ki.

A módszer egyetlen hátránya, hogy a vizsgálatba bevonható attribútumok száma meglehetősen behatárolt, ez azonban más módszerek esetén is fennáll (LOKEN, 2003; DAIM et al., 2009; SIMONGÁTI, 2009). Az általam elvégzett, különböző energia-előállítási technológiák fenntarthatósági értékelésének módszertani kerete fentiek alapján *nem-kompenzatórikus többszemponútú értékelés, feltételes választásra (CE) alapozott súlyozással.*

4. A FENNTARTHATÓSÁGI ÉRTÉKELÉS MÓDSZERE

Ebben a fejezetben bemutatom az általam végzett fenntarthatósági értékelés módszertani alapjait. Először vázolom az elvégzett részfeladatokat, majd a fenntarthatósági értékelés jellemzőit mutatom be. Ezek után a jellemzők súlyainak meghatározására felhasznált feltételes választás (CE) módszerét ismertetem, majd az alternatívák összevetésének a módját.

Részletesen szólok a kutatás elsődleges eredményének tekinthető technológia-értékelés módszeréről, valamint a további kiértékelés menetéről is: az érzékenységvizsgálatról, az optimális energiamix becsléséről és a projektszintű értékelés módszertani keretéről is.

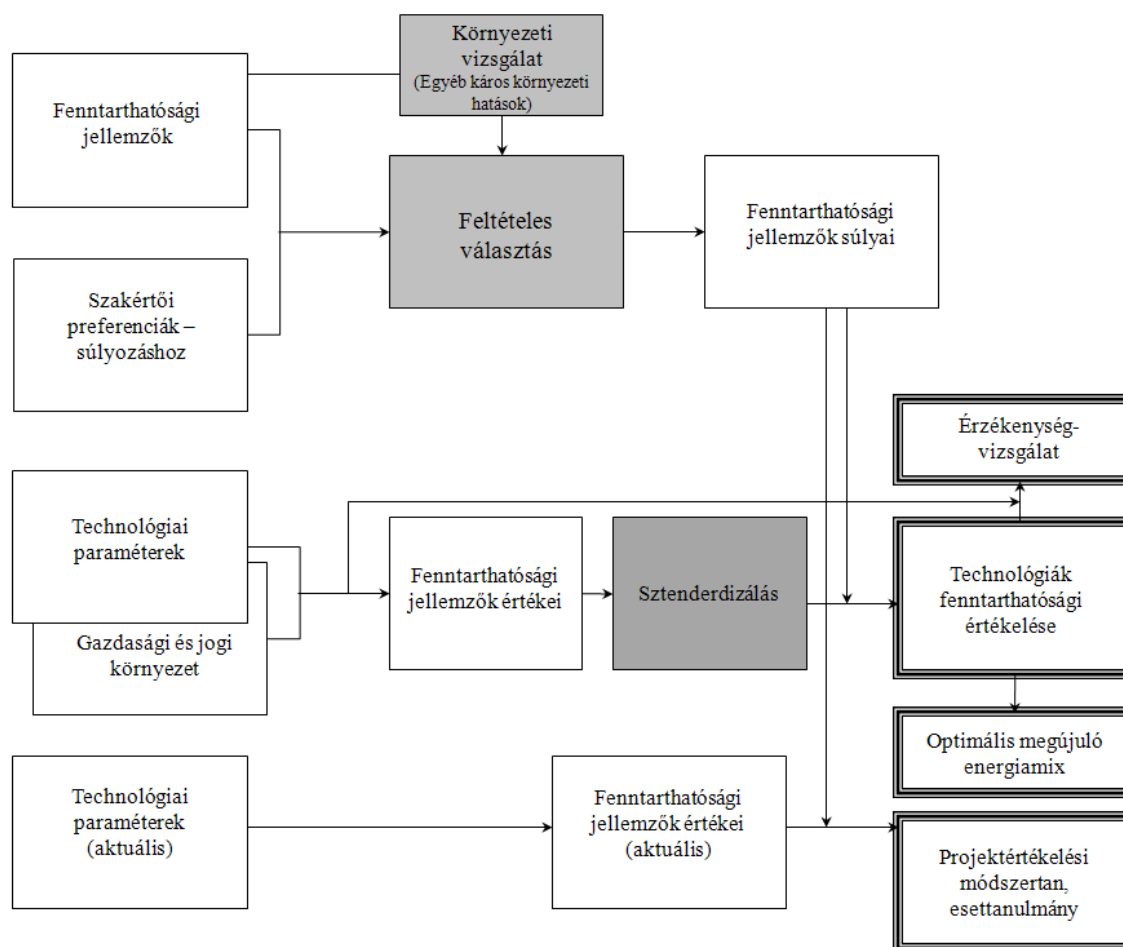
4.1. A módszer bemutatása

A fenntarthatósági értékelés módszere nem-kompenzatórikus többszemponútú értékelés, feltételes választásra (CE) alapozott súlyozással. Ennek lépéseit nyomon követhetjük a **11. ábra** segítségével. Bal oldalon az értékelés inputadatai láthatók, a szürke cellákban az értékelés elvégzéséhez szükséges módszerek, jobb oldalon pedig az értékelés eredményei.

Az első feladat mindenképpen a megújuló energiaforrásokat hasznosító technológiák lehető legjobb leírását és összehasonlíthatóságát biztosító fenntarthatósági jellemzők meghatározása. A jellemzők tekintetében leginkább a szakirodalom által leggyakrabban bemutatott (**3. fejezet**) jellemzőkre hagytam, melyeknek a számát a feltételes választás módszere behatárolta. Végül hét fenntarthatósági jellemző kialakítására került sor.

A szakértői preferenciák felmérésére a feltételes választás (CE) módszerét alkalmaztam, szakértői kérdőív kitöltése által. A felmérés célja a fenntarthatósági jellemzők súlyainak meghatározása volt.

11. ábra: A fenntarthatósági értékelés modellje; inputadatok és eredmények



Forrás: saját szerkesztés

A technológiai, környezeti, társadalmi és a – részben adminisztratíván befolyásolt – gazdasági paraméterek meghatározása minden egyes technológiára vonatkozóan szakirodalmi adatok alapján történt. A technológiák jellemzőit három szinten adtam meg: globálisan, Magyarországra vonatkozóan és projekt szinten, miskolci beruházások példáján (a **11. ábra** alsó része) Ez a projektszintű összehasonlítás tetszőleges környezetben adaptálható.

Az egyik fenntarthatósági jellemző, a környezeti dimenzió leírására az ÜHG kibocsátás mellett hivatott „egyéb káros környezeti hatások” attribútum vizsgálatára önálló környezeti vizsgálati módszert alakítottam ki, erről részletesebben a **4.2.1. fejezetben** írok. Az elsődleges eredmény a technológiák globális és hazai relatív rangsora (**4.6. alfejezet**), melyből a további eredmények születtek: a technológiák paramétereinek, illetve a jellemzők súlyainak változására bekövetkező rangsor-változás elemzése

(érzékenységvizsgálat) **(4.7. alfejezet)**; Magyarország fenntarthatósági szempontból optimális megújuló forrású energiakeveréke a jelenlegi viszonyok között **(5.5 alfejezet)**; valamint az egyedi projektértékelés módszerének bemutatása **(4.8 alfejezet)**.

4.2. Az értékelés alapjai: fenntarthatósági jellemzők

A megújuló energiaforrások fenntarthatósági értékeléséhez először ki kellett jelölnünk azt a kevés számú, leglényegesebb fenntarthatósági attribútumot (tényezőt, jellemzőt, karakterisztikát), mely alapján a technológiákat összehasonlíthatjuk. Az attribútumok lehetséges száma a szakértői felmérésben alkalmazott módszer miatt szükségszerűen alacsony volt.

A feltételes választás módszerével végzett felmérések során a megkérdezetteknek néhány (2-4) jószágra, beruházásra, politikára vonatkozó, hipotetikus alternatíva között kell választaniuk. A vizsgálat során először meg kellett határoznom az attribútumokat és az attribútum szinteket **(8. táblázat)**. Ennek során az energetikai projektekhez kapcsolható legfontosabb környezeti, társadalmi és gazdasági tényezőket igyekeztem kiválasztani. Az attribútumoknak a módszer megfelelő alkalmazhatósága érdekében relevánsnak, jól érthetőnek és politikailag értelmezhetőnek, hasznosíthatónak kell lenniük (BENNETT – BLAMEY, 2001).

Az attribútum szintek kialakításánál törekedtem arra, hogy azok lefedjék a létező technológiák lehetséges skáláját az adott attribútum tekintetében. A szinteknek nem kell azonban valóban létező technológiákat takarniuk, hiszen a belőlük generált „A” és „B” alternatívák sem valódi technológiák.

8. táblázat: Attribútumok és attribútum szintek

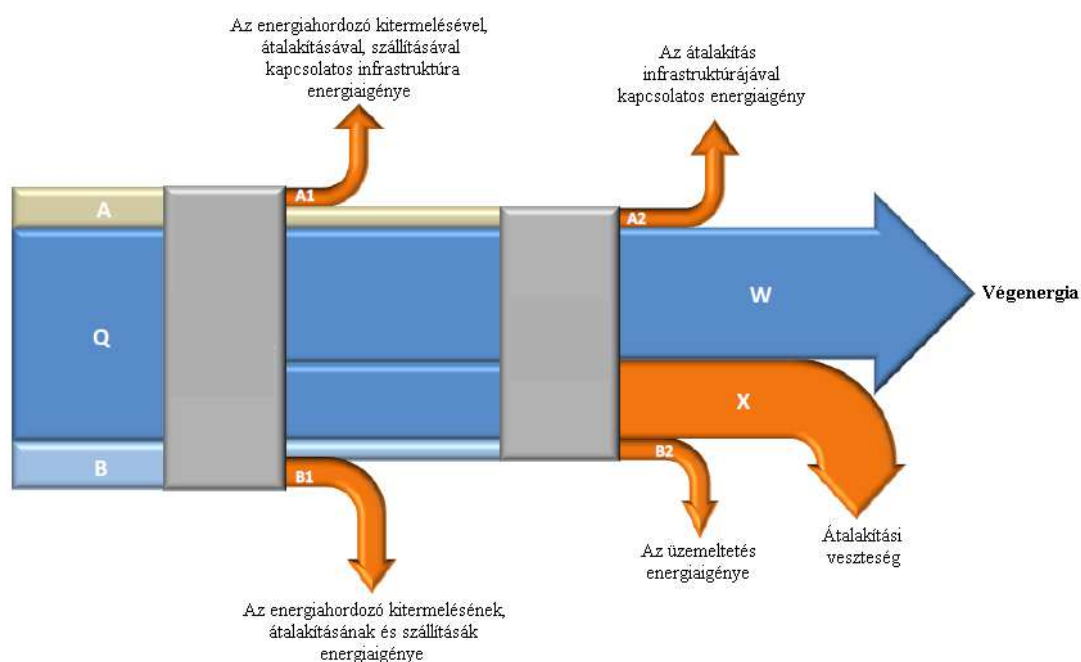
Attribútum	Leírás	Szint
Légszennyezés (üvegházhatású gázok, fosszilis energiához képest)	Üvegházhatású gázok kibocsátásának csökkenése a technológia teljes vertikumában, konvencionális helyettesítő energiaátalakítási eljáráshoz képest;%.	5; 50; 80
Területigény	A technológiai vertikumban olyan területek kerülnek hasznosításra, melyek az élelmiszer-termelés, az erdőgazdálkodás vagy a természetvédelem céljait szolgálhatnák (ha/TJ).	2; 20
Energiahatékonyság	A teljes technológiai vertikumban felhasznált és a nyert energia aránya (O/I);%	10, 30; 60
Egyéb káros környezeti hatás (fosszilis energiához képest)	A hasznosításhoz köthető hatások, melyek jelentkezhetnek közvetve vagy közvetlenül. (Pl. tájképi hatás, zajhatás, szaghatás stb.) %	20; 60
Költségnövekedés	A beruházási költségek és a berendezés életciklusa során fellépő üzemeltetési költségeinek fajlagos értéke mennyivel haladja meg a konvencionális helyettesítő technológiák értékeit? %	5; 30; 60
Keletkező új munkahely	A technológia alkalmazásának hatására létrejött új munkahelyek száma az egész vertikumban (fő/100 TJ)	2; 10; 20
Lokális jövedelem	A hasznosítás helyéhez kötődő természetes személyeknél, gazdasági társaságoknál vagy önkormányzatoknál keletkező jövedelem; MFt/TJ	2; 5; 15

Forrás: saját szerkesztés

Az energiahatékonyságot a kumulatív energiaigény (Cumulative Energy Demand, CED) indikátor segítségével értékeltem, nem pedig az energiaátalakítás hatásfokával jellemeztem, így a megtermelt energia életciklusának minden pontján befektetett energia figyelembe vehető. A CED tartalmazza a teljes energiavertikum energiaigényét a stockok és a flow folyamatok esetében egyaránt, ezért alkalmas az egyes technológiák energiahatékonyságának teljes körű leírására — a hatásfokkal ellentétben. Előnyeinek köszönhetően a CED az energetikai folyamatok környezeti hatáselemzésének eszközévé vált a gazdasági értékelések mellett (WAGNER – PICK, 2004).

A CED számítása során a folyamatnak köszönhetően előállított energiát az annak érdekében befektetett energiamennyiséghez viszonyítjuk, figyelembe véve a nyersanyag energiatartalmát (MODAHL et al., 2012). A **12. ábrán** egy energiaátalakítási folyamat energiaigényei és veszteségei figyelhetők meg a teljes életciklus során.

12. ábra: Az energia életciklusa során felmerülő energiaigények



Forrás: RAADAL et al., 2012

Az alkalmazott jelöléseket felhasználva a CED kiszámítása a következő módon történik:

$$CED = (A + B + Q) / W \quad (1)$$

ahol A-val jelöljük az energiaátalakítási folyamathoz szükséges infrastruktúra előállításához, fenntartásához és ártalmatlanításához (erőművek, vezetékek, járművek) szükséges energiaigényt, B-vel az átalakítás energiafelhasználását és Q jelöli az energiahordozó energiatartalmát, W a végső energiafelhasználást (RAADAL et al., 2012).

Az egyes megújuló energiaforrásokra alapozott technológiák költségeit a teljes előállítási költséggel jellemeztem (levelized cost of energy, LCOE), így a teljes életciklus során felmerülő beruházási és üzemeltetési költségek egy mutatóban vehetők figyelembe. A teljes előállítási költség indikátor előnye, hogy egy mutatóban értékelhetők a beruházási, üzemeltetési és ártalmatlanítási költségek. Az LCOE az energia előállítási költségek indikátorai közül a legelfogadottabb, és a leginkább

alkalmas az egyes technológiák összehasonlítására (OECD/IEA, 2010). A teljes előállítási költség kiszámítása nyomon követhető a (2) egyenlet segítségével.

$$LCOE = \sum_t [C (1 + r)^{-t}] / \sum_t [P (1 + r)^{-t}] \quad (2)$$

ahol: C az előállítás összes költsége a t-ik évben; r a diszkontráta; P a t-ik évben előállított energia.

A lokális jövedelemben tartozik minden olyan, munkajövedelmen felül keletkező, a régióban maradó bevétel, ami egy technológia üzemeltetéséhez köthető (tűzelőanyag-termelés bevétele, iparűzési adó, helyi alvállalkozók bevétele, önkormányzati hozzájárulások). A lokális társadalmi-gazdasági hatások értékelését a technológiák jellemző költség szerkezetének becslésével végeztem (ALLAN et al., 2011) nyomán.

A valószínűsíthetően helyben maradó kiadások aránya differenciálta a technológiákat aszerint, milyen mértékben járulnak hozzá közvetlenül a helyi erőforrások fejlesztéséhez. A helyi jövedelem terén az egyik véglet egy olyan technológia – például szél erőművek – amelyek karbantartása is speciális külső személyzetet igényel, a másik véglet pedig egy olyan erőmű vagy fűtőmű, amelynek alapanyag-igénye (biomassza) rendszeres jövedelmet biztosít helyi vállalkozásoknak, emellett ellátása és karbantartása helyi alvállalkozókkal megoldható.

A munkahelyteremtés, területfoglalás és CO₂ ekvivalens emisszió attribútumokat szintén az életciklus-szemlélet elveinek megfelelően gyűjtöttem össze a szakirodalmi közlemények feldolgozásával. Az attribútum-jellemzőket minden esetben fajlagos értékekkel írtam le az egzakt összehasonlíthatóság érdekében.

4.2.1. A káros környezeti hatások értékelése

Az üvegházhatású gázok emisszióján kívül minden más káros környezeti hatást (biodiverzitás csökkenése, ritkafémek kitermelése, elektromágneses interferencia stb.) figyelmen kívül hagyva az értékelés jelentősen torzulna, mivel azok esetenként igen jelentősek lehetnek (ROCKSTRÖM et al., 2009). Mindezen hatások általános megítélése és számszerűsítése azonban számos problémába ütközik:

helyszínspecifikusság, az érintettség szubjektivitása, a környezeti hatások különböző földrajzi hatásterülete és a hatások különböző ökológiai jelentősége.

Kutatásaim során azonban nem találtam olyan alkalmas módszertant, mely a megújuló energiaforrások hasznosításakor általában jelentkező hatásokat egy mutatóban képes jellemezni, ezért megalkottam egy, a hatások együttes értékelésére alkalmas keretet, mely az ökoszisztéma-szolgáltatások értékelését veszi alapul (COSTANZA et al., 1997), és alkalmas a fent vázolt problémák megoldására. Az elemzés során azt kalkuláltam, mekkora kárt okoz az egyes megújuló energiaforrások alkalmazása azáltal, hogy leromlást okoz az érintett ökoszisztéma-szolgáltatás minőségében.

A környezeti hatások valós értékelésének lehetőségét véleményem szerint egyes tényezők kifejezetten torzíthatják, ezekre a későbbiekben részletesen még kitérek:

- i. A társadalom bevonása a környezeti hatások értékelésébe helytelen következtetésekre vezethet az adott csoport érintettsége miatt. A helyi közösségek érdekeinek, véleményének figyelembevételével párhuzamosan törekedni kell az objektívebb értékelési módszerek alkalmazására is.
- ii. A számtalan lehetséges környezeti hatás nem egyenrangú. Az ökológiai problémák esetében a globális-lokális összetettség mentén valamilyen hierarchia-szerű felépítést, prioritást kellene érvényesíteni
- iii. A problémák összetettsége, a potenciális hatások száma és mértéke a helyi szinttől a makroszint felé növekszik.

Ebben az alfejezetben bemutatok egy lehetséges, az ökoszisztéma-szolgáltatások elméletére alapozott, környezetpolitikai döntések kompetenciájának növelését elősegítő környezeti értékelési módszertani keretet. Az eredmények az „egyéb káros környezeti hatások” fenntarthatósági jellemző számszerűsítéséhez biztosítanak alapot.

Az említett fenntarthatósági jellemző mérhetősége szempontjából azon környezetpolitikai vizsgálati eszközöknek van jelentőségük, melyeknek célja a környezeti hatások releváns értékelése, a különböző beavatkozások környezeti szempontú vizsgálata.

„A környezeti értékelés fogalmkörébe minden olyan tevékenység beleértendő, amely a környezetben lejátszódó antropogén vagy természeti eredetű folyamat, jelenség, vagy környezeti elemekben és rendszerben bekövetkező állapotváltozás megfigyelését, a változások irányának és mértékének rögzítését (mérését) [...] és fenntartó tervezési tevékenységek és beavatkozások hatékonyságát és hatásosságát vizsgálja.” (CZIRA, 2003, p. 11) Ennek megfelelően célom éppen a változások, hatások irányának és mértékének minél pontosabb és megalapozottabb meghatározásához, azok összehasonlíthatóságához való hozzájárulás.

A környezeti értékelés célja sokrétű, a téma szempontjából kiemelkedőek az információszolgáltatás, a tervezés támogatása és a döntés-előkészítés. E célra számos módszer és módszer-kombináció alkalmazható, CZIRA Tamás (2003) a teljesség igénye nélkül 15 ilyen módszert sorol fel, többek között: környezeti hatásvizsgálat, stratégiai környezeti vizsgálat, környezeti konfliktusértékelés.

BELA Györgyi és mtsai (2003) „a környezetpolitikában alkalmazható döntéstámogató modellekről és értékelési eljárásokról” (p. 7.) adott áttekintésükben kevesebb lehetséges módszert említenek, bár ezek csak részben környezetértékelési módszerek, alkalmazásuk ennél szélesebb körű lehet. A bemutatott módszerek:

- költség-haszon elemzés (Cost-benefit Analysis – CBA);
- több szempontú döntéstámogatás (Multi-Criteria Decision Aid – MCDA);
- állampolgári tanácsok (Citizens’ Jury – CJ);
- környezeti hatásvizsgálat (Environmental Impact Assessment - EIA);
- alkalmazkodó környezetértékelés és környezetgazdálkodás (Adaptive Environmental Assessment and Management – AEAM);
- konstruktív technológiaértékelés (Constructive Technology Assessment – CTA);
- részvételen alapuló vidékértékelés (Participatory Rural Appraisal – PRA)

A felsorolt módszerek mindegyikét bizonyos torzítások terhelik, amelyek véleményem szerint a társadalmi részvétel fokozása, illetve a tiszta szakértői módszerek alkalmazása

közti ellentétre; valamint a bevezetésben említett „hatás-hierarchia”, illetve a makroszintű értékelés nehézségeire vezethetők vissza.

MÁLOVICS és BAJMÓCZY (2009) a klasszikus környezetgazdaságtan értékelési eljárásait állítják szembe az ökológiai gazdaságtan által szorgalmazott deliberatív eljárásokkal. A monetarizáción alapuló környezeti értékelésnek valóban megvannak a hátrányai. Ezek a következők:

- 1) a használattal nem összefüggő értékrészek meghatározására nehezebben alkalmasak;
- 2) a lineáris kapcsolatok feltételezése;
- 3) áttételes kapcsolat az értékelt jószág és az érintett természeti erőforrás között (valós piacok hiánya, ill. hipotetikus piacok képzésének nehézségei).

Előnye az ide tartozó metódusoknak ugyanakkor, hogy könnyen hozzáférhető adatok alapján értékelnek nehezen tárgyasítható, értékelhető erőforrásokat, így a döntéshozók számára könnyen értelmezhető iránymutatással szolgálnak (MARJAINÉ SZERÉNYI, 2005), jó alapot szolgáltatva ezáltal a különböző beruházási és politikai döntéseket előkészítő és támogató költség-haszon elemzések elvégzéséhez (SZLÁVIK, 2006b).

Az ökológiai közgazdaságtan elvei szerint a környezeti döntések során fokozottan ügyelni kell a társadalmi részvételre. Az ökológiai gazdaságtani megközelítés szerint az állampolgári magatartás gyakorlása során az egyének teljesen más preferenciákkal jellemezhetőek, mint a fogyasztás során: jellemző rájuk az altruizmus. Az emberek tehát „multiracionálisak”, és az adott szituációban dől el, hogy döntéseikben melyik „énjüket” követik (MÁLOVICS – BAJMÓCZY, 2009).

Az egyének preferenciái ezek szerint nem mindig ugyanúgy és ugyanolyan mértékben érvényesülnek, a helyzetet pedig tovább bonyolítja, hogy a preferenciák változóknak és endogének (MÁLOVICS – BAJMÓCZY, 2009; COSTANZA, 2003). Ez egyrészt azon monetáris értékelési eljárások gyengeségét jelenti, melyek a preferenciákra alapozzák egyes javak értékelését (feltárt- és kinyilvánított preferencia eljárások),

másrészt viszont megkérdőjelezzik a társadalmi részvétel megalapozottságát, hiszen a preferenciák ezek szerint akár rosszindulatúan is változtathatók.

Szintén a társadalmi részvétel mellett érvelnek MÁLOVICS és BAJMÓCZY (2009, p. 478.), amikor azt állítják, hogy „ha még a természet pénzbeli értékelése pusztán a döntést befolyásoló tényezők egyike, [...] akkor sem léteznek „objektív” szakértők, csak eltérő, versengő tudományos álláspontok”. A társadalmi részvételben azonban szintúgy nem figyelhető meg az egységes fellépés: egy deliberatív folyamat számos részvevőjét is jellemzi bizonyos egyéni, illetve csoportérdek mentén érvényesülő megosztottság — persze azon csoportok között, amelyek nem maradtak ki az egyeztetésből gyengébb érdekérvényesítő képességük miatt (SZIRMAI et al., 2005).

BELA Györgyi és mtsai (2003) szerint a környezetpolitikai döntésekben való társadalmi részvétel előnyei a lakosság helyismerete, a politikai kockázat csökkentése és a társadalmi, közösségi tanulási folyamat maga; míg hátrányai az elfoglaltság, idő- és költségigényesség, a szakmaiság hiánya és a rossz döntések veszélye.

A környezetvédelem kibontakozását a fejlett államokban a társadalomnak a gazdaságra és az államra gyakorolt nyomása biztosította, ugyanakkor a környezeti problémák megítélése nem a károk mértéke alapján, és nem objektíven, hanem „érdekkötött módon” történik. Ezen érdekeket különböző társadalmi szükségletek és igények mozgatják (SZIRMAI, 1999). Éppen ezért szükséges a különböző érdekek okozta szubjektivitás szintjének csökkentése, még akkor is, ha elméletileg a természet érdekeinek védelmét egyes társadalmi csoportok vállalják, vállalhatják, hiszen ezek nem feltétlenül egyeznek meg a helyi lakosság érdekeivel.

Kisebb-nagyobb környezeti hatása minden emberi tevékenységnek van, és ezek hatálya nem határolható le elég egyértelműen térben és időben, az egyes döntések nem csak a helyi társadalomra vannak hatással (SZABÓ – KUTI, 2007). Joga volna a deliberációs folyamatban részt venni a jövő nemzedékeknek, de azon jelenben élőknek is, akikre akár csak kis mértékben is hat az adott beavatkozás. Az ÜHG gázok kibocsátását érintő esetekben például ez a Föld összes lakosát, 7 milliárd embert – és azok utódait – jelentene.

Ez viszont még mindig nem jelenti az érintettség és érdekelttség teljes körét. Az ember csupán egy kis része a számos kölcsönhatással jellemezhető, nagy komplexitású ökoszisztémának: a környezetpolitikai tervezésbe ugyanolyan jogon érdemelne beleszólást a teljes földi flóra és fauna (LÁNYI, 2007), bár ez a felvetés erősen túlidealizált, elméleti. A helyi közösségek tehát túlreprezentáltak lehetnek a döntések és a tervezés során az ökoszisztéma más elemeihez képest.

Az érintettség kérdése tovább bonyolódik, amint lokális szinttől a regionális, majd a globális szint felé távolodunk. Kétkedem az egyének állampolgári, altruista preferenciarendszerében olyan esetben, amikor a saját magára visszaható és az általa közvetlenül nem érzékelhető hatásokat kell összevetnie. A helyzet a költségek viselése esetén ugyanilyen, csak fordított előjellel. Ez a probléma a deliberatív és a monetarizáción alapuló környezeti értékelést is terheli a lokális szinttől távolodva – a környezetpolitikai tervezés színtere döntő részben azonban ennél általánosabb.

A deliberatív és monetáris értékelési eljárások előnyeinek egyesítésére alkalmas lehet a módszercsoportok kombinációja, a deliberatív monetáris értékelés (deliberative monetary valuation, DMV). SZABÓ Zoltán (2011) a Közép-Mezőföldi térség biodiverzitásának értékelésén keresztül mutatja be a módszert. Az eljárás fókuszcsoportos találkozók lebonyolítását és feltételes értékeléssel végzett felmérést igényel. A DMV módszer segítségével minden érintett ökoszisztéma-szolgáltatásra vonatkozó értékelés elvégzése – úgy vélem – megfelelő megközelítés volna, azonban jelentősen meghaladná a jelen kutatás céljára rendelkezésre álló erőforrásokat.

Természetesen nem szeretném következtetésként levonni a deliberatív eljárások alkalmatlanságát, hiszen a környezeti problémák és hatások ismerete, egzakt megismerése nélkülözhetetlen bármilyen értékelési eljárás során. A környezeti tervezés olyan eszközök és módszerek alkalmazását igényli, amelyek a lehető legobjektívebben leírják és értékelik a környezetben bekövetkező változások hatásait. Az alfejezetben bemutatott módszer segítségével ezen objektivitás fejleszthető.

Ökoszisztéma-szolgáltatások

Az ökoszisztéma-szolgáltatások fogalma a 20. század végén jelent meg erőteljesen a természet- és társadalomtudományok határterületein. Az ökoszisztéma-szolgáltatás „az emberiség hasznát jelenti az ökoszisztémákból, azaz azon javakat és szolgáltatásokat, amelyeket az ember élete során közvetlenül vagy közvetve felhasznál”. A természettől „kapott”, gyakran esszenciális javakat és szolgáltatásokat értjük ökoszisztéma szolgáltatások alatt (BÁLDI, 2011). A későbbiekben az ökoszisztéma-szolgáltatásokat és a javakat együtt, szolgáltatásokként tárgyalom.

Az ökoszisztéma-szolgáltatások és javak alapvetően a négy ökoszisztéma-funkcióra vezethetők vissza: szabályozás, élőhely, produkció és információ (DE GROOT et al., 2002), ezek a különböző ökoszisztéma-szolgáltatások forrásai. Alapvetően három csoportot különböztethetünk meg: ellátó/termelő (pl. élelmiszer, nyersanyag, genetikai bázis), szabályozó (pl. klíma-, egyedszám-, eróziószabályozás; beporzás) és kulturális (pl. rekreáció, táj) szolgáltatásokat (KELEMEN et al., 2009).

Az ökoszisztéma-szolgáltatások vizsgálatával egyrészt becsülhetjük a különböző beavatkozások hatását az ökoszisztémára, másrészt viszont az ökoszisztéma-szolgáltatások fogalomköre a társadalomtudományok eszköztárát is bővítheti (KOVÁCS et al., 2011). Ezen szolgáltatások pénzben értékelhetők, ami lehetővé teszi egyes folyamatok hatásainak gazdasági értékelését, így pénzértékük – vagy értékcsökkenésük – döntéshozatali rendszerbe illeszthető és segíti a környezetpolitikai tervezést (BÁLDI, 2011; CZÚCZ et al., 2011).

Az egyes ökoszisztéma-szolgáltatások értékelésére számos, a környezetgazdaságtan által megalkotott és elismert módszer, valamint deliberatív, kvalitatív módszerekre alapozott értékelési eljárás is alkalmazható (DE GROOT et al., 2002). A környezetgazdaságban alkalmazott kvantitatív módszerek alapján a szolgáltatások pénzben értékelhetők. A monetarizáció történhet a fejlesztési költségek számbavétele által, illetve az egyéni preferenciák segítségével, keresleti görbe alapján. MARJAINÉ SZERÉNYI (2011) szerint ez utóbbiak az elméletileg helyes eljárások.

HEIN és mtsai (2006) szerint az ökoszisztéma-szolgáltatások értéke a szolgáltatások és az érintettek dinamikus kapcsolatától függ. A szerzők az összehasonlíthatóságot tartják elsődlegesnek, így az általuk javasolt módszertani keretben megengedett a pénzbeli és a nem monetáris értékelés egyidejű használata. A szerzők által bemutatott esettanulmány ennek ellenére csak monetáris értékeléseket tartalmaz az egyes szolgáltatásokra vonatkozóan, amelyek különféle környezetértékelési módszerek kreatív alkalmazásai.

Az ökoszisztéma-szolgáltatások értéke megközelíthető az egyik alapvető szolgáltatás kiemelésével is. XIE és mtsai (in ZANG et al., 2011) az agrárium élelmiszertermelése mint ellátó típusú ökoszisztéma-szolgáltatás alapján vezették le az összes többi szolgáltatás értékét.

A deliberatív eljárások az ökoszisztéma-szolgáltatások közösségi jóléthez való hozzájárulását értékelik, nagy előnyük, hogy ez esetben a szolgáltatások értékelése és a környezeti döntések előkészítése egy időben történhet. A hazai szakirodalomban a módszert KELEMEN és mtsai (2009) az Alpári-öblözet példáján mutatták be. A tanulmány kvalitatív, mélyinterjúk módszertana azonban nem teszi lehetővé a változások kvantitatív összevetését.

Az ökoszisztéma-szolgáltatások jelentős része nem értékelhető gazdasági értelemben közvetlenül, piaci árak alapján, hiszen nem jelennek meg a piacon. Ezek a szolgáltatások tehát a gazdasági teljesítmény mérésének hatályaán kívül esnek, így a bruttó hazai terméknek sem képezik részét (SZLÁVIK, 2006a). Az ökoszisztéma-szolgáltatások figyelembevételével kialakítható a reálisabb, környezeti értékeket is tartalmazó „zöld GDP” (ALEXANDER et al., 1998). A szerzők azonban eltekintettek a szolgáltatások értékének jelentős összetevőitől: a használattal nem összefüggő értékrészek és a nem értékesített termékek előállítását szolgáló ökoszisztéma-szolgáltatásoktól. A szerzők célja a teljes földi ökoszisztéma értékének meghatározása volt, ezért nem különböztettek meg eltérő típusú szolgáltatásokat, tanulmányom célját tekintve tehát ez a módszer nem alkalmazható. A globális ökoszisztéma értéke a szerzők különböző modellekre alapozott számításai alapján 8 és 16,2 trillió dollár (10^{12} 1987 USD) közötti, ami az 1987. évi globális GDP 44-88%-a.

Az általam alkalmazott hatás-értékelési módszer alapjául szolgáló ökoszisztéma-szolgáltatások értékeléssel szemben támasztott kritérium a szolgáltatások teljes, vagy legalább relatív, egymáshoz viszonyított értékének meghatározására való alkalmasság volt. Céljaimnak az egyes ökoszisztéma-szolgáltatások pontos értékelése miatt a következő tanulmány által bemutatott eredmények jelentették a kiindulópontot.

COSTANZA és mtsai (1997) a Nature-ben publikálták tanulmányukat az ökoszisztéma-szolgáltatások globális értékéről, amelyet évi 33 trillió USD átlag-értékre becsültek. Ez a globális GNI majdnem kétszerese (18 trillió USD). A szerzők 17 szolgáltatást definiáltak, és ezek értékét 16 biom tekintetében külön-külön meghatározták USD/ha/év dimenzióban (ökoszisztéma-szolgáltatás koefficiensek). A cikk több mint 100 tanulmány eredményeinek szintézise. Az **9. táblázatban** az ökoszisztéma-szolgáltatások értékének globális eloszlását láthatjuk az egyes biomokban. A szolgáltatásokat tekintve legjelentősebb a tápanyagforgalom (51%) értéke, amelyben kimagasló szerepe van a partvidékek élő szervezeteinek, különösen az algáknak. Magas továbbá a kulturális szolgáltatások (9%), illetve a hulladék asszimiláció (6,8%) aránya (COSTANZA et al., 1997).

9. táblázat: Az ökoszisztéma-szolgáltatások értéke az egyes biomokban, 10⁹ USD¹⁹⁹⁴/év

Biom	Érték
<i>Nyílt óceán</i>	8.381
<i>Tengerpart</i>	12.568
<i>Trópusi erdők</i>	3.813
<i>Mérsékelt övi erdők</i>	894
<i>Gyeppek, legelők</i>	906
<i>Mocsarak, lápok</i>	4.879
<i>Folyók, tavak</i>	1.700
<i>Sivatag</i>	
<i>Tundra</i>	
<i>Jég/szikla</i>	
<i>Szántó</i>	128
<i>Beépített</i>	
Összesen	33.268

A sötétített cellák az ökoszisztéma-szolgáltatások értékének elhanyagolhatóságát jelzik, az üres cellák pedig az adatok hiányát.

Forrás: COSTANZA et al., 1997

A szerzők részletesen elemezték a számítás gyengeségeit és a módszer korlátait, amelyek közül a legfontosabbak a következők (COSTANZA et al., 1997):

- i. egyes ökoszisztéma-szolgáltatások értékelése hiányos;
- ii. az ökoszisztéma-szolgáltatások értékét feltáró tanulmányok többsége WTP⁷ számításra alapozott, ami időben változhat;
- iii. lineáris keresleti függvények feltételezése;
- iv. az extrapoláció hibája: kis területek ökoszisztéma-szolgáltatások értékének globális vonatkoztatása;
- v. stock értékek flow értékre váltása 5%-os diszkontráta használatával;
- vi. „pillanatfelvétel”-szerű statikus modell alkalmazása a dinamikus ökoszisztéma-szolgáltatásokra.

David PEARCE 1998-ban publikált cikkében komoly bírálatokat fogalmaz meg az 1997-es tanulmánnyal szemben: „Costanza és szerzőtársainak cikke mélységesen elhibázott” (p. 28.). A leginkább kifogásolt pontok: a WTP alkalmazása; a marginális WTP teljes Földre való vonatkoztatása; a globális ökoszisztéma-szolgáltatások értékének GNI-t meghaladó mértéke. Ezeket a kifogásokat Costanza és szerzőtársai részletesen elemezték, álláspontjuk megvédésére az Environment szerkesztősége ugyanabban a számban lehetőséget adott. COSTANZA és mtsai (1998) tovább tárgyalták a pénzbeli értékelés létjogosultságát, reagálva ezzel a tudományos közvélemény észrevételeire.

A COSTANZA és mtsai által készített számítások természetesen a szolgáltatások értékelésének csupán nyers becslései. A tudomány máig adós maradt a további, komoly pontosítással, azonban a számítások feldolgozása, kisebb területekre való közvetlen alkalmazása mégis elterjedt (CHEN – ZHANG, 2000; LEI, 2003; WANG et al., 2005; ZHAO et al., 2005; WANG et al., 2011; ZANG et al., 2011). Két esetben kisebb módosításokkal alkalmazták a számításokat (SEIDL – MORAES, 2000; YU et al., 2004). Hazánkban Kerekes Sándor és munkatársai a szigetközi térség esetében, a természeti tőke értékében a Bős-Nagymarosi Vízlépcsőrendszer megépítése

⁷ Willingness-to-pay, fizetési hajlandóság

következtében várhatóan bekövetkező változások modellezésére alkalmazták a Costanza és szerzőtárai által publikált értékelést (MARJAINÉ SZERÉNYI, 1999).

Az ökoszisztéma-szolgáltatások értékének lehetséges szerepe a környezeti vizsgálatban a megújuló energiaforrások példáján

A különböző fejlesztéspolitikai tervek, vagy egyes környezetpolitikai döntések során a környezeti vizsgálat szempontjából jelentős hiányosságok észlelhetők a környezeti hatások összehasonlíthatósága terén. A COSTANZA és mtsai által 1997-ben közzétett számítások alapjait használom, mert máig nem született átfogóbb becslés az ökoszisztéma-szolgáltatások értékét illetően, és az ökoszisztéma-szolgáltatás koefficiensek által érvényesíthető a hatás-hierarchia, a hatások eltérő léptéke és jelentősége.

A szolgáltatások közvetlen felhasználásához a környezeti vizsgálatokban a hatás-értékelés céljára el kell fogadnunk azt a logikai lépést, hogy az egyes káros környezeti hatások egy vagy több ökoszisztéma-szolgáltatásban minőségi kárt okoznak, ugyanakkor javíthatják is azt. Mivel tanulmányom célja a makroszintű értékelés megalapozása, eltekintek a hatás effektív, lokális helyszínétől. A hatások összevetésének módszere a következő lépésekből épül fel:

1. az érintett/tervezési terület lehatárolása,
2. a káros hatások azonosítása,
3. a vizsgált területen az ökoszisztéma-szolgáltatások értékének kalkulációja,
4. a hatások összehasonlítása.

Az ökoszisztéma-szolgáltatások értékét tehát a teljes vizsgált területre kell kiszámítani, majd az egyes szolgáltatások aránya a teljes ökoszisztéma értékében az adott szolgáltatás súlyaként kerül alkalmazásra a hatások összevetésénél. Például Magyarországon a vízellátás ökoszisztéma-szolgáltatás értéke az összes szolgáltatásnak a 17,12%-t jelenti. Az olyan hatással jellemezhető technológia vagy fejlesztés, ami ebben a szolgáltatásban minőségi csökkenést idéz elő, ilyen mértékű káros hatásokkal jellemezhető. A hatások mértéke összeadódik. A fejezet további részében a megújuló energiaforrások példáján keresztül mutatom be a számítások menetét.

A megújuló energiaforrások potenciális negatív hatásait a **10. táblázatban** gyűjtöttem össze szakirodalom alapján (DE ALMEIDA et al., 2005; BOBOK – TÓTH, 2010; CHERUBINI – STROMANN, 2011; DINYA, 2010; JOSIMOVICS – PUCAR, 2010; KRISTMANNSDÓTTIR – ÁRMANNSSON, 2003; MCBRIDGE et al., 2011; PHILLIPS, 2010; RYBACH, 2003; SAIDUR et al., 2011; SEMBERY – TÓTH, 2004; SZALAI et al., 2010; SZARKA, 2010; SZEREDI et al., 2010; TSOUTSOS et al., 2005; TÓTHNÉ SZITA, 2012b)⁸⁹. A káros hatások között csak azokat szerepeltettem, melyek mindegyik vonatkozó közleményben szerepelnek és normál üzem mellett előfordulnak. Az általam megismert, kifejezetten a megújuló energiaforrások káros környezeti hatásait taglaló szakirodalomban előforduló negatív hatásokat nem egészítettem ki és nem is szelektáltam.

A legtöbb esetben a vízkészletekre gyakorolt negatív hatás figyelhető meg (biomassza, geotermikus, vízenergia). A biodiverzitás csökkenésével az extenzív, magas területigényű energiatermelési módoknál számoltam (biomassza, napenergia), míg a vízenergia esetén ezt a hatást „az alvízoldali hidrológiai viszonyok változása” miatt szerepeltettem (SZEREDI et al., 2010; p. 960.).

10. táblázat: A különböző megújuló energiaforrások negatív környezeti hatásai

<i>Biomassza</i>	<i>Geotermikus</i>	<i>Szélerergia</i>	<i>Napenergia</i>	<i>Vízenergia</i>
– biodiverzitás csökkenése (11, 12)	– légszennyezés (1, 2, 16)	– árnyékhatás (12, 16, 17)	– tájképi hatás (16, 17)	– biodiverzitás csökkenése (11, 12)
– talajdegradáció (3, 6, 7)	– hőszennyezés (2, 12)	– elektromágneses interferencia (12, 16, 17)	– biodiverzitás csökkenése (11, 12)	– vízjárás változása (4, 5)
– légszennyezés (1, 2, 16)	– zajhatás (12)	– madár- és denevérpusztulás (11, 12)	– ritka fémek kitermelése (6, 7)	– vízminőség változása (4, 5)
– vizek szennyeződése (4, 5)	– vízszintcsökkenés (5)	– tájképi hatás (16, 17)		– talajdegradáció (3, 6, 7)
		– zajhatás (12, 16, 17)		

A zárójelben az ökoszisztéma-szolgáltatás sorszáma található, melyre az adott hatás negatív irányban hat, lásd **11. táblázat**

Forrás: saját szerkesztés

Az energiahasznosításhoz kötődő potenciális pozitív hatások értékét, mint az ökoszisztéma-szolgáltatások minőségi javulását számoltam el, ilyenek a biomassza

⁸ Csak a kifejezetten környezeti hatásokkal foglalkozó tanulmányokat idéztem

⁹ A beruházás során megfigyelhető káros hatásoktól eltekintettem.

esetén a nyersanyag-szolgáltatás, és vízenergia esetén az élőhely és a rekreáció szolgáltatások. Ezekben az esetekben a pozitív hatások érvényesítése érdekében az érintett ökoszisztéma-szolgáltatások értékét nem számoltam el negatív értéként.

A káros környezeti hatások azonosítása után (1. lépés, **10. táblázat**) a vizsgált területet Magyarország teljes területében határoztam meg (2. lépés), mivel a megújuló energiaforrásokat érintő tervek, operatív programok és szabályozás alapvetően országos szintűek.

Következő lépésként meghatároztam az ország területén megfigyelhető ökoszisztéma-szolgáltatások értékét COSTANZA és mtsai (1997) számításai alapján (3. lépés, **11. táblázat**). A táblázatban a 17 ökoszisztéma-szolgáltatás éves értéke látható a hazánkban létező biotopok teljes területén. Az adatok egyes esetekben hiányosak az eredeti tanulmányban, ezek pótlása az általam felvázolt értékelési módszer pontosítását is elősegítene. A hiányzó értékek a felmérés hiányát jelentik, aminek oka lehet egyrészt az adott biotopban kevésbé jelentős szolgáltatás érték (pl. erózió-kontroll a vizek, vagy nyersanyag-képző funkció a gyepek esetén), másrészt az értékelés valódi hiánya.

Az ökoszisztéma-szolgáltatások közül Magyarországon a vízkészletekhez köthető érték (21,31% és 17,12%), valamint a hulladék-asszimiláció érték (19,92%) a legmagasabb. A táplálékképzés (10,71%) és az általános szabályozás (10,62%) szintén magas ökoszisztéma-szolgáltatás értékkel jellemezhető, ez utóbbiba tartoznak az árvízvédelmi funkciók és egyéb élőhely-védő szolgáltatások. Az ökoszisztéma-szolgáltatások teljes értéke Magyarországon 2011-ben $1640,18 \times 10^{10}$ HUF/év¹⁰, ami a 2010-es GDP (2674×10^{10} HUF) 61,33%-a. Ennek pontos értéke kevésbé fontos, az viszont elmondható, hogy nagyságrendileg összevethetőek az ökoszisztéma-szolgáltatások és a bruttó hazai termék.

Az egyes szolgáltatások aránya a táblázat utolsó oszlopában található. Egy adott hatás – mely egy adott ökoszisztéma-szolgáltatás minőségi leromlásához vezet – az adott szolgáltatáshoz tartozó aránnyal „rontja” a vizsgált terület környezetminőségét (4. lépés). Ha például egy RES technológia olyan sok káros hatással bírna, hogy az mind a

¹⁰ Az eredeti tanulmányban 1994-es USD értékkel számoltak a szerzők, ezt 2011-es USD értékre számítottam át (<http://www.usinflationcalculator.com/>), majd 2011. 11. 03-i árfolyamon HUF-ra.

17 szolgáltatás minőségére hat, annak a technológiának a káros hatása 100% lenne. Ha nem tudnánk káros hatást azonosítani egy adott megújuló energiaforrásra alapozott technológiához, akkor ez az elméleti helyzet 0%-kal lenne jellemezhető.

11. táblázat: Ökoszisztéma-szolgáltatások értéke Magyarországon, 10¹⁰ HUF/év

<i>Biom</i> (ha)		Erdő (2.302)	Gyep (1.892)	Láp (113)	Vizek (187)	Mg. (4.405)	Beépített (402)	Összes (93.012)	%
<i>Légkör-szabályozás</i>	1		4,51	5,10				9,61	0,59
<i>Klíma-szabályozás</i>	2	68,89						68,89	4,20
<i>Általános szabályozás</i>	3			174,14				174,14	10,62
<i>Vízszabályozás</i>	4		1,93	0,85	347,06			349,56	21,31
<i>Vízellátás</i>	5			145,79	134,93			280,72	17,12
<i>Erózió-kontroll</i>	6		18,66					18,66	1,14
<i>Talajképződés</i>	7	7,83	0,64					8,47	0,52
<i>Tápanyag-forgalom</i>	8							0,00	0,00
<i>Hulladék-asszimiláció</i>	9	68,11	55,99	160,25	42,39			326,74	19,92
<i>Beporzás</i>	10		16,09			20,98		37,07	2,26
<i>Biológiai szabályozás</i>	11	3,13	14,80			35,96		53,89	3,29
<i>Élőhely</i>	12			11,66				11,66	0,71
<i>Táplálék-képzés</i>	13	39,41	43,12	9,82	2,61	80,91		175,60	10,71
<i>Nyersanyag</i>	14	19,57		4,07				23,64	1,44
<i>Genetikai bázis</i>	15							0,00	0,00
<i>Rekreáció</i>	16	28,18	1,29	22,02	14,66			66,15	4,03
<i>Kulturális</i>	17	1,57		33,80				35,37	2,16
Teljes		236,42	157,03	567,23	541,65	137,8	0,00	1.640,2	100

A sötétített cellák az ökoszisztéma-szolgáltatások értékének elhanyagolhatóságát jelzik, az üres cellák pedig az adatok hiányát. Az eredeti tanulmányban közöltek szerint vettem figyelembe az ökoszisztéma-szolgáltatások értékét, bár némely esetben a szolgáltatás hiánya vagy alacsony értéke véleményem szerint megkérdőjelezhető, pótlendő lenne.

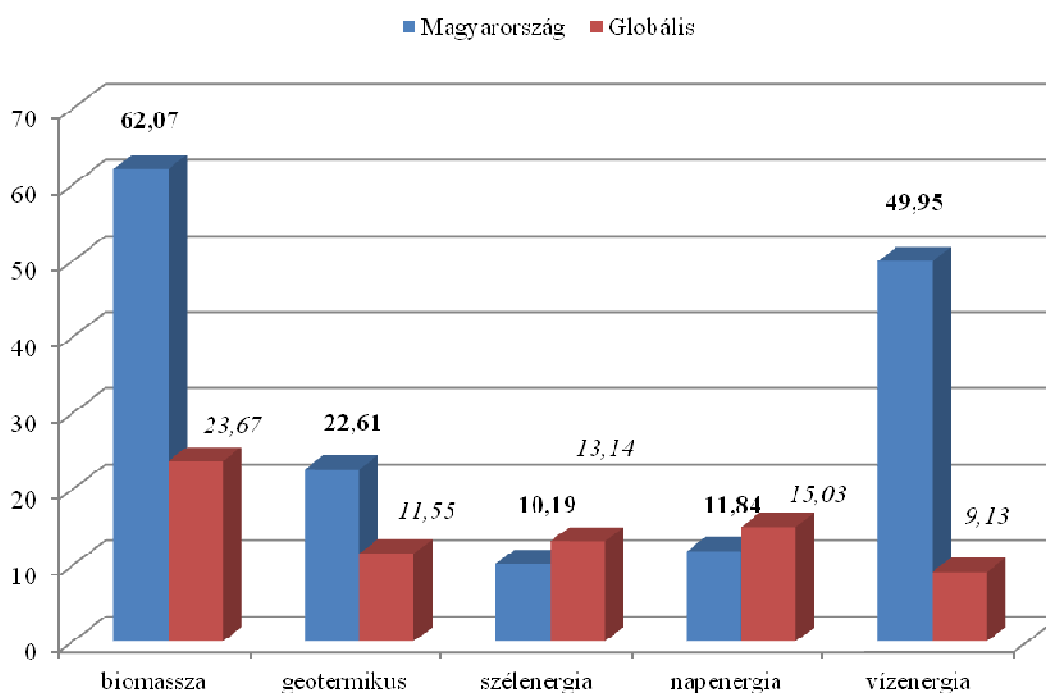
Forrás: saját számítás COSTANZA et al., 1997 alapján

A környezeti értékelés és hatás-vizsgálat pontosságát természetesen emelné az ökoszisztéma-szolgáltatások minél részletesebb értékelése. A hiányzó adatok egyedileg is pótolhatók hazai környezetben elvégzett értékelési eljárások segítségével.

Végző lépésként összegeznünk kell az egyes káros hatásokhoz tartozó ökoszisztéma-szolgáltatások relatív értékét (%) valamennyi megújuló energiaforrás tekintetében, így megkapjuk azok relatív környezeti hatását százalékos értékben. Az eredmények a **13. ábrán** láthatók. A globális adatsor az eredeti (COSTANZA et al., 1997) tanulmány, míg a hazai adatsor annak Magyarországra vonatkoztatott értékeiből (**11. táblázat**) adódik.

A megújuló energiaforrások között megfigyelhetők magas és csekély környezeti hatással jellemezhetők. A viszonylag nagy eltéréseket a vízkészletekkel való összefüggés okozza: mint a **10. táblázat**ban nyomon követhető, a biomassa, a geotermikus energia és a vízenergia mind hatással vannak a vízzel kapcsolatos szolgáltatásokra, ezért ezek környezetterhelő hatása e számítási mód szerint magasabbnak mutatkozik. Úgy gondolom, az általános szakmai véleményekkel az eredmények konzisztensek.

13. ábra: A megújuló energiaforrások relatív környezeti hatása, %



Forrás: saját szerkesztés saját számítások és COSTANZA et al., 1997 alapján

Globális perspektívában a biomassa és a vízenergia környezeti hatásai nem kiugróak, mivel az óceánoknak és trópusi erdőknek van a legnagyobb jelentőségük az ökoszisztéma-szolgáltatásokban, és ezek egyikére sincs hatással az említett két energiaforrás.

Az általam felvázolt módszer új eszköz lehet a különböző típusú környezeti vizsgálatok terén. Természetesen a kapott relatív környezeti hatások értéke némi fenntartással kezelendő, a környezetpolitikai tervezésben kontroll nélkül nem alkalmazható. A tervezési és döntési eljárások során kiegészítő szerephez juthat, hiszen a konkrét

ügyekben a szakértői tudást semmiképpen nem helyettesítheti. Alkalmas lehet a módszer a különböző szakértői és deliberatív eljárásokban informatív jellegű súlyok megállapítására, például az MCDA módszerben, vagy a SKV-k esetén bemutatott értékelő mátrixok pontszámainak befolyásolásában. A módszer alapvető hibaforrásai és korlátai is jól azonosíthatók azonban:

- i. az eredeti tanulmány (COSTANZA et al., 1997) korlátai érvényesek
- ii. az egyes hatások azonos mértékének feltételezése a különböző alternatívák tekintetében (fejleszthető)
- iii. a hatás színteréből adódó különbségek nem érvényesíthetők.

A módszert önálló környezeti vizsgálati eszközként nem tartom alkalmazhatónak, de fejlesztési tervek és programok ex ante értékeléséhez valamint különböző regionális vagy országos szintű, környezeti hatással rendelkező, vagy környezetvédelmi célú szabályozások (törvények, rendeletek, határozatok) előzetes hatásvizsgálatához jelentősen hozzájárulhat.

4.3. A feltételes választás módszere

A fent leírt hét fenntarthatósági jellemző, attribútum jelentőségét (súlyát) a fenntartható energiarendszerben a feltételes választás módszerével (choice experiment, CE) hazai szakértők körében elvégzett felmérés alapján határoztam meg. A feltételes választás az egyik legpontosabb módszer a preferenciák feltárására. A szakértőket arra kértem, hogy ismereteik birtokában, felelősen és a fenntarthatóságot szem előtt tartva töltsék ki a kérdőívet.

A CE módszer segítségével megállapítottam, milyen jelentőségűek az egyes fenntarthatósági attribútumok a szakértők energiamixeket érintő döntéseiben. Azért alkalmaztam ezt a módszert, mert a többi, környezetgazdaságtanban használt, feltárt preferencia-alapú módszerrel ellentétben alkalmas az egyes döntések hatására bekövetkező jólét-változások teljes felmérésére (MARJAINÉ SZERÉNYI, 2005).

A módszer Lancaster karakterisztika-elméletén alapul, mely szerint a fogyasztó hasznosságérzete nem az adott jószág közvetlen fogyasztásához köthető, hanem a

jószág bizonyos kevés számú jellemzőinek, karakterisztikáinak meglétéhez, minőségéhez. Minden jószág fogyasztásának preferenciái feloszthatók tehát annak karakterisztikáira, a fogyasztó nem a jószág, mint fizikai egység alapján dönt a fogyasztásról, hanem a számára bizonyos hasznosságot hordozó karakterisztikák szintjétől, minőségétől, meglététől függően. A jószágok anyagi természetén túl a módszer fejlesztési politikák vizsgálatára is alkalmazható (KRAJNYIK, 2008), jelen esetben is erre törekedtem.

Az aktuális döntések összekapcsolása a hasznosságérzettel a véletlen hasznossági modell segítségével végezhető el. A véletlen (random) hasznossági modell alapján az i -ik megkérdezettnek egy C -vel jelölt választási kártya j -ik alternatívájához kötődő hasznossága U_{ij} , ami egy szisztematikus részből (V_{ij}) és egy véletlenszerű hibatagból áll (ε_{ij}).

$$U_{ij} = V_{ij} + \varepsilon_{ij} \quad (3)$$

A h alternatíva választása az i -dik megkérdezett által arra utal, hogy az általa elérhető (U_{ih}) hasznosságérzet nagyobb, mint egy másik, j alternatíva esetén:

$$P_{ih} = \text{Prob} (V_{ih} + \varepsilon_{ih} > V_{ij} + \varepsilon_{ij}) \quad (4)$$

Feltételezve, hogy a hibatagok eloszlása független és azonos (IID) és Gumbel eloszlást követ, a h alternatíva választásának valószínűsége a feltételes logisztikus regressziós „conditional logit” modell szerint (CL) a következőképpen számítható:

$$P_{ih} = \exp [\mu V_{ih}] / \sum \exp[\mu V_{ij}] \quad (5)$$

ahol μ egy skálaparaméter, várható értéke minden egyes adathalmazban 1 (normalizált). A j -edik alternatívához köthető hasznosságérzet szisztematikus része feltételezhetően az attribútumok lineáris függvénye. A feltételes választás (CE) módszerének célja tehát az A attribútumhoz kapcsolódó V_j hasznosság becslése:

$$V_j = ASC_V + \beta_1 A_1 + \beta_2 A_2 + \dots + \beta_n A_n \quad (6)$$

Az ASC egy „alternatíva-specifikus konstans”, mindössze azt jelzi, hogy az adott alternatíva milyen valószínűséggel került választásra. A β koefficiens az attribútumokhoz köthető hasznosságra utal (BENNETT – BLAMEY, 2001), ami a megkérdezettek preferenciáit hordozza és lehetővé teszi a teljes sokaságra levonható következtetést.

A három vagy több opció közötti választás esetén alkalmazható ökonometriai modellek a következők. A multinominális logit modell és a feltételes logit modell (conditional logit, CL) feltételezi a hibatagok függetlenségét és a preferenciák homogenitását. Bár a két modell közt van eltérés, az elnevezések összemosása előfordul. Jelen kutatás modellje feltételes logit (CL).

A két, igen erős feltételezés feloldásához a CL modellnél jóval bonyolultabbak alkalmazására lehet szükség (BAJI, 2012). A hibatagok függetlenségének feltételezése feloldható az ún. beágyazott modell alkalmazásával (nested logit, NL). Ebben az esetben a koefficiensek kiszámítása kétlépcsős folyamat, az attribútumok β értékeinek becslésekor csak azon válaszokat vesszük figyelembe, amelyek nem döntöttek a status quo mellett. Esetünkben azonban feltételezhető volt a status quo elutasítása, ami később be is bizonyosodott: a válaszadók a legtöbb esetben A vagy B opció közül választottak. Ebből kifolyólag az egyszerűbb felépítésű feltételes logit modell alkalmazása mellett döntöttem (CL).

A heterogén preferenciák kezelésére a „mixed logit” (random paraméter logit) (BRANDTMÜLLER, 2009) és a „latent class” modellek alkalmasak, ezek használata akkor kerülhet előtérbe, ha a különböző preferenciákat okozó paraméterek (kor, nem, jövedelem) megfigyelhetők (BAJI, 2012). Én azonban feltételeztem, hogy az említett paraméterekhez hasonlóan mérhető változók nem hatnak a szakértők preferenciáira, ezért e jóval összetettebb modellek alkalmazása sem indokolt. A felmérés eredményeit conditional logit (CL) modell segítségével kaptam.

Magyarországon korábban KRAJNYOK Zsolt (2008) a Baradla-Domica barlangrendszer, illetve MARJAINÉ SZERÉNYI Zsuzsanna és munkatársai (2011) a Duna árterének ökoszisztéma-szolgáltatásinak monetáris értékelésére alkalmazták a feltételes választás módszerét.

A feltételes választás módszerével végzett vizsgálatok lépései a következők (BENNETT – BLAMEY, 2001):

- 1) a döntési helyzet leírása;
- 2) attribútumok és attribútum-szintek kiválasztása;
- 3) a kérdőív kialakítása;
- 4) a döntési halmazok kialakítása;
- 5) minta meghatározása és adatfelvétel;
- 6) eredmények kiszámítása;
- 7) eredmények értékelése – politikai hasznosítása.

A döntési helyzet leírása (1) a dolgozat **1. fejezetében** megtörtént, az attribútumok és attribútum-szintek kiválasztása (2) a fenntarthatósági jellemzők leírásával valósult meg (**4.2. alfejezet**), a további lépésekről pedig a disszertáció későbbi fejezeteiben számolok be. Az eredmények hasznosítása (7)) jelen kutatás esetében a megújuló energiaforrásokra alapozott energiahasznosítási technológiák fenntarthatósági értékelésének jellemző-súlyai formájában történik, ami a teljes fenntarthatósági értékelés egyik inputja.

4.4. A feltételes választás módszere az energiagazdálkodási fenntarthatósági értékelésekben

A feltételes választás módszerének első alkalmazásai a 80-as évek elején a marketingkutatásban láttak napvilágot (MARJAINÉ SZERÉNYI, 2005; KRAJNYIK, 2008; BAJI, 2012). A módszer fejlődésével a vizsgálatok köre is kiszélesedett. Számos tanulmány alkalmazta a módszert a turizmus, a tájépítészet és a környezeti javak értékelésének területén. A következőkben az eddig publikált energiagazdálkodási vonatkozású alkalmazásokat mutatom be.

A lehetséges villamos-energetikai beruházásokhoz kapcsolódó preferenciák összehasonlítását végezték BERGMANN és mtsai (2006) Skóciában CE felmérés segítségével. A felmérésben a tájkép, élővilág, légszennyezés, foglalkoztatás és energiaár attribútumok szerepeltek. 219 visszaérkezett kérdőív alapján a légszennyezés

csökkentésének WTP értéke volt a legnagyobb – a foglalkoztatáshoz kötődő hasznosság még 90%-os szinten sem volt szignifikáns. Feltételezéseim szerint a foglalkoztatással kapcsolatos attribútum értékelése Magyarországon magasabb.

LONGO és mtsai (2008) Bath (Anglia) lakosainak preferenciáit mérték fel CE módszerrel a megújuló energiaforrások támogatásának elősegítése érdekében. Attribútumaik az ÜHG emisszió, az áramszünetek hossza, a foglalkoztatás és a villanyszámla összegének növekedése voltak. Az üvegházhatású gázok kibocsátásához kapcsolódó β koefficiens volt a legmagasabb.

KU és YOO (2010) koreai energetikai beruházásokat vizsgáltak. Attribútumaik megegyeztek BERGMANN és mtsai (2006) attribútumaival, de az eredmények kissé magasabb preferenciát mutatnak a foglalkoztatás esetében.

A Michigani Egyetem polgárai preferenciáinak felmérésére is sor került különböző energetikai fejlesztéspolitikák tekintetében (KOMAREK et al., 2011). A webes felmérés attribútumai az energiamix, az energia-megtakarítási hatás, a szén-dioxid kiváltás, az energiamix elérésének éve és a költségek voltak. A legmagasabb preferenciák a nagyobb kibocsátás-csökkentés és a szél- illetve napenergia magasabb aránya esetén figyelhetők meg.

A liberalizált villamos energia piacokon a fogyasztóknak lehetősége nyílik választani a különböző szolgáltatók különböző energiamixe közül. Bár sok tanulmány bizonyította a fogyasztók pozitív környezeti attitűdjét, ez a piacon idáig nem igazán érvényesül (KAENZIG et al., 2013). A szerzők hat attribútum segítségével, feltételes választással vizsgálták ennek az ellentmondásnak a természetét Németországban, melyek közül az egyik az energiamixre vonatkozott. Az attribútumok jelentőségét egyrészt a feltételes választás segítségével, másrészt a kérdőív végén, közvetlenül, értékelő-skála segítségével mérték fel a szerzők. Az eredmények megfigyelhetők a **12. táblázatban**.

12. táblázat: Az attribútumok jelentősége

Attribútum	Teljes minta (N = 414)		Zöldenergia fogyasztók (N = 29)	
	CE, %	Direkt megkérdezés*	CE, %	Direkt megkérdezés*
Havi villamos energiaköltség	30	1,5	23	1,6
Energiamix	32	3,3	49	1,6
Energia előállítás helye	13	3,4	9	3,0
Árgarancia	8	1,8	5	2,0
Öko-címke	6	3,6	4	2,4
Szolgáltató	6	3,3	5	2,8
Hűségidő (szolgáltató felé)	6	2,7	4	3,1

*Likert skála, 1: nagyon fontos; 6: nem fontos

Forrás: KAENZIG et al., 2012

Egyértelmű a direkt megkérdezés és a CE felmérés által felfedett preferenciarendszer eltérése. Viszont meglepő módon a CE felmérés során – amikor elvileg a válaszadók kevésbé tudják tudatos módon elfedni vagy megváltoztatni valódi preferenciáikat, mint direkt megkérdezés esetén – az energiamix attribútum jelentősége nagyobb az árnál. A direkt megkérdezés során az ár igen fontos tényezőnek bizonyult (1,5) az energiakeverékekkel szemben (3,3), a CE kérdőív eredményei alapján viszont az energiamix a fontosabb (32% ill. 30%). A költségeket a környezeti attitűddel szembeállítva általában feltételezhető, hogy a környezeti aspektusok alulértékeltek. A felmérés eredményei tehát vagy módszertani hibával terheltek, vagy Németországban a környezetvédelem már mélyen beépült a fogyasztók preferenciarendszerébe.

BORCHERS és mtsai (2007) nested logit (NL) modell segítségével elemezték New Castle County, Delaware (USA) lakosainak preferenciáit 128 kérdőív alapján. Az egyes energiaforrások esetében a döntést képek bemutatásával és verbálisan, az előnyök és hátrányok kiemelésével támogatták a kérdezőbiztosok. Az eredmények némileg meglepőek, hiszen azon fogyasztók számára, akik alapvetően hajlandóak többletkiadásra a magasabb megújuló energiaarány érdekében, mindössze a napenergia magasabb aránya jelent pozitív változást, a szélenergia és bioenergia hasznosításának növekedése negatívan hat a jólétre. Az ár-attribútum jelentősége sokkal alacsonyabb az energiamixet érintő karakterisztikáknál (BORCHERS et al., 2007).

GRACIA és mtsai (2012) Zaragoza (Spanyolország) villamosenergia-fogyasztóinak fizetési hajlandóságát mérték fel a megújuló energiaforrások tekintetében CE

segítségével. A felmérés attribútumai a villamos energia ára, a szél-, nap- és bioenergia aránya (külön-külön), illetve az energia eredete (Aragónia/ismeretlen) voltak. A legjelentősebb attribútumok egyértelműen az energia eredete és ezt követően az ára, a forrás jelentősége elhanyagolható (GRACIA et al., 2012). Az ASC relatíve alacsony értékéből arra következtethetünk, hogy nagyon magas volt a status quo-t választó megkérdezettek aránya. Az előbbi két felmérés inkább a különböző energiaforrások elfogadottságának felmérésére alkalmas, mintsem az elfogadottság okának feltárására.

A **13. táblázat**ban megfigyelhetők az eddigi felmérések attribútumai és a β koefficiensek. A megújuló energiaforrásokkal kapcsolatos preferenciák vizsgálatának nincsenek általánosan elfogadott attribútumai, de a különböző környezeti hatások, a foglalkoztatás és a költségek, valamint az energiakeverékre vonatkozó attribútumok általában jellemzőek.

13. táblázat: A megújuló energiaforrások attribútumai CE felmérésekben

Forrás	Attribútumok	β koefficiens
BERGMANN et al., 2006	Tájképi hatás	0,39***
	Biodiverzitás	0,50***
	Légszennyezés	0,71***
	Foglalkoztatás	0,01
	Ár	-0,05***
KU – YOO, 2010	Tájképi hatás	0,001
	Biodiverzitás	0,003**
	Légszennyezés	0,003***
	Foglalkoztatás	0,004**
	Ár	-0,0004***
LONGO et al., 2008	ÜHG csökkentés	0,6804***
	Áramkimaradás	-0,0088***
	Munkahelyek	0,0006***
	Ár	-0,0224
KOMAREK et al., 2011	<i>Energiaforrás</i>	
	Szén	-
	Földgáz	0,0124***
	Biomassza	0,0187***
	Szél	0,0440***
	Nap	0,0438***
	Nukleáris	0,0055***
	<i>Energia megtakarítás</i>	
	Minimális	-
	Közepes	0,0947***
	Magas	0,0546
	ÜHG kibocsátás csökkentése	0,0773***
	Energiamix elérésének éve	-0,0382***
	Ár	-0,0063***
	BORCHERS et al., 2007	
	Költség	-0,075***
	Szélergia aránya	-0,171
	Bioenergia aránya	-0,794***
	Napenergia aránya	0,465*
	Biogáz aránya	-0,549**
	A megújuló energia aránya	0,001**
GRACIA et al., 2012	Ár	-22,004*
	Szélergia aránya	-0,0426*
	Napenergia aránya	0,0760*
	Bioenergia aránya	-0,0780*
	Energia eredete	0,0428*

*, **, *** szignifikancia szint 90%; 95%; 99%

A világosabb szürkével jelölt attribútumok két felmérésben, a sötétebb szürkével csupán egy kutatás során kerültek felhasználásra.

Forrás: lásd a táblázatban

Az attribútumok között az eddigi felmérések során visszatérőek az energiamixet érintők, a foglalkoztatási jellemzők, az ÜHG kibocsátás és természetesen a költség ill. ár-dimenzió. A környezeti hatások közül két tanulmányban az emissziókon kívül

megjelenik a tájképi hatás, ami egyáltalán nem a legfontosabb ökológiai tényező. Elmondható tehát, hogy a környezeti és társadalmi dimenzió eddig átfogóan egy-egy attribútum formájában jelent meg a preferencia-felmérésekben.

A β koefficiensek az egyes attribútumok relatív jelentőségét képviselik a döntés során. Másképpen fogalmazva arra utalnak, milyen mértékű jólét-változás következik be, milyen mértékben változik egy alternatíva hasznossága, ha az adott attribútum értékében (mennyiségileg vagy minőségileg) változás következik be.

A légszennyezés attribútuma két tanulmány esetén a legfontosabb (BERGMANN et al., 2006; LONGO et al., 2008), egy esetben a második (KOMAREK et al., 2011) és egy tanulmány eredményei között nincs valódi jelentősége (KU – YOO, 2010). A foglalkoztatási attribútum jelentősége csekély, saját kutatásom során ennek az ellenkezőjét feltételeztem. Az energiamixet alkotó megújuló energiaforrások megítélése eltérő mind jelentőségét, mind a kapcsolat előjelét tekintve. Feltételezhetően ez esetben a döntések sok összetett hatás által terheltek. Az ár-attribútum – bár mindegyik felmérésben megjelenik – csak egy esetben bizonyult a legjelentősebb attribútumnak (GARCIA et al., 2012), itt viszont kimagasló jelentőségű.

Az eddigi CE felmérések struktúrája alapján elmondható, hogy a vizsgálatok inkább a lakosság megújulókkal kapcsolatos preferenciáinak felmérésére irányultak, az attribútumok ez alapján kerültek kialakításra. A módszer azonban tökéletesen felhasználható jelen fenntarthatósági értékelés jellemzőinek megalapozott súlyozására.

4.5. A szakértői felmérés

Az attribútumok definiálása után megszerkesztettem a választási kártyákat (döntési halmaz). A lehetséges alternatívák, tehát a termékkártyák, (más néven profilok) az attribútum szintek kombinációjából állnak. Az összes lehetséges kombináció a „teljes faktoriális” (full factorial¹¹) — ebben az esetben ez 972 lehetséges termékkártyát jelent. Mivel lehetetlen feladat lenne ennyi termékkártyából felépülő választási kártyát ($972/2 = 486$ db) kitölteni egy megkérdezett számára, ezért ún. „részleges faktoriális”

¹¹ Az attribútum szintek kombinációja, ebben az esetben $3 \times 2 \times 3 \times 2 \times 3 \times 3 \times 3 = 972$

(fractional factorial) (BENETT – BLAMEY, 2001; BAJI, 2012) hoztam létre, ami egy mintavételi eljárás segítségével töredékére csökkenti a lehetséges profilok számát.

Ezek után 18 db termékkártya maradt, amiből 9 db választási kártyát állítottam össze. Minden megkérdezettnek ezt a 9 választási szituációt kellett egymás után megoldani. A választási kártyák tartalmazznak két alternatívát („A” és „B”) illetve egy status quo, „Egyik sem” lehetőséget, amely a jelenlegi energiarendszer fennmaradását jelképezi – ebben az esetben fennmarad annak minden hátránya is. Ezen három lehetőség közül kellett egyet választaniuk a megkérdezett szakértőknek. A **14. ábra** egy példát mutat be a választási kártyák közül.

14. ábra: Egy választási kártya a kilenc közül

		„A” változat	„B” változat	Egyik sem
	Légszennyezés (üvegház-hatású gázok, fosszilis energiához képest)	80%	50%	Jelenlegi energia- rendszer marad
	Területigény	2 ha	2 ha	
	Energiahatékonyság	60%	30%	
	Egyéb káros környezeti hatás (zaj, biodiverzitás, vibráció stb., fosszilis energiához képest)	20%	20%	
	Költségnövekedés	5%	30%	
	Keletkező új munkahely	10	20	
	Helyi jövedelem (a munkajövedelmen felül)	2 Mft	2 Mft	
Az Ön választása:		☐	☐	☐

Forrás: saját szerkesztés

Fontos hangsúlyozni, hogy a termékkártyák hipotetikus, fiktív fejlődési irányokat képviselnek, azok nem azonosíthatók egyik létező technológiával sem. Ezen felmérés célja csupán az egyes attribútumok jelentőségének feltárása volt, annak a felmérése, milyen szerepet játszanak az egyes karakterisztikák az alternatívák közötti döntés során. Ezt a jelentőséget az adott attribútum fenntarthatósági súlyával, fontosságával azonosítottam a későbbiekben.

A kérdőív három részből épült fel (**1. melléklet**): az első részben bevezető kérdéseket tettem fel a fenntartható energiagazdálkodással kapcsolatban, majd a kilenc döntési halmaz következett. Az utolsó részben a megkérdezettek attitűdjét vizsgáltam a fenntartható fejlődés három dimenziójának tekintetében ötfokú Likert skála segítségével. A kérdőív kitöltése kb. 10-15 percet vett igénybe. A legnehezebb feladat egyértelműen a kilenc választási kártyát illető döntések meghozatala volt. Lakossági felmérésekben ez túl soknak is bizonyulna, de a szakértők esetén feltételeztem a magasabb szintű érdeklődést, felelősségtudatot, döntési kompetenciákat és nem utolsósorban a stabil preferenciarendszert.

A szakértők kiválasztásának kritériumai a következők voltak. Szakértőként fogadtam el azon személyeket, akik katalogizált publikációval rendelkeznek a „megújuló energiaforrások”, a „környezetgazdaságtan” és/vagy a „környezetpolitika” területén (kulcsszóval). Ugyancsak szakértőként fogadtam el azon személyeket, akik pozíciót töltenek be e területeken, egyetemeken vagy főiskolákon, kormányzati szerveknél vagy szakmailag elismert civil szervezeteknél, adott esetben publikációs aktivitás nélkül is.

Ezen normatív kritériumok alapján a szakértői kör többségében környezetüggyel foglalkozó kutatókból, döntéshozókból épült fel. Kutatásom célja a technológiák fenntarthatósági értékelése volt, olyan szakemberek véleményét szerettem volna „összegyűjteni”, akik a fenntarthatóság komplex megközelítését birtokolva, a fenntarthatóság dimenziói szerint (környezet – társadalom – gazdaság), felelősségteljesen tudják megítélni a választási kártyákon bemutatott szituációkat, nem kizárólag energetikai szakemberek vagy vállalkozások döntéshozói – még ha tudásuk színvonala az adott területen kiemelkedő is. A fenntarthatóság kutatásával pedig általában környezetorientált szakemberek foglalkoznak, amit akár természetesnek is tekinthetünk tekintve korunk súlyosbodó ökológiai válságát.

A kérdőívet 38 szakértő segítségével teszteltem és az eredmények illetve a visszajelzések alapján leginkább az attribútum-szintek leírásán változtattam. Az eredmények hasznosíthatóságának jelentős gátat szabott a területigény és az egyéb káros környezeti hatások bináris, verbális jellemzése (alacsony/magas); egyértelművé vált, hogy ezeket is kvantitatív módon kell jellemeznünk és értékelnünk. Ekkor vált

jelentős feladattá a **4.2.1. alfejezetben** bemutatott környezeti vizsgálati módszer kialakítása.

A második, végleges kérdőívezés során on-line kérdőíves rendszert vettünk igénybe, amely 2011. október 11. és 2011. november 18. között volt elérhető, a weblap elérhetőségét e-mailben küldtem ki „Tisztelt Szakértő” megszólítással. A 172 kiválasztott szakértőből 52 fő töltött ki kérdőívet (30,2% visszaérkezési arány).

4.6. A technológiai értékelés módszere

A felmérés elsődleges eredményei az attribútumokhoz kötődő β koefficiensek. Ezek szerepeltek a későbbiekben súlyként az egyes projektek összehasonlítása során. Kutatásom fő célja a megújuló energiaforrásokra alapozott technológiák összehasonlítása volt. 17 különböző technológia adatait gyűjtöttem össze széleskörű szakirodalmi kutatásra támaszkodva, közel 60 közlemény feldolgozásával.

A tudományos közlemények adataira támaszkodva már kialakítható mind a hét attribútum jellemző értéke az egyes technológiák tekintetében. A közlemények egy része önmagában is áttekintő tanulmány, tehát több tanulmány adatainak szintézisét tartalmazza, egy másik része pedig eredeti közlemény.

Minden attribútum esetén a közleményekben publikált adatok átlagainak mediánját vettem jellemző értéknek. A medián mint helyzeti középpérték alkalmazásával elkerülhető a kiugró értékek által okozott torzulás, ami a számtani átlagban fennállna.

A következő lépésben a technológiák értékeit az egyes attribútumok tekintetében sztenderdizáltam a (7) képlet szerint. Ezáltal 0 és 1 közé eső értékeket kaptam úgy, hogy megőriztük a projektek közötti relatív különbséget. A valódi, relatív fenntarthatósági rangsor felállításához ez a lépés elengedhetetlen, illetve szintén a sztenderdizálás teszi lehetővé a különböző dimenziójú attribútum-értékek aggregálását.

$$A_{iS} = (A_i - A_{\min}) / (A_{\max} - A_{\min}) \quad (7)$$

Ahol: A_{iS} az adott attribútum sztenderdizált értéke; A_i az adott technológia attribútum-értéke; $A_{\min}$ az adott attribútum legalacsonyabb értéke; $A_{\max}$ az adott attribútum legmagasabb értéke

Végül a sztenderdizált értékeket korrigáltam a fenntarthatósági attribútumok súlyaival, melyeket a szakértői felmérés során nyertem. A lépés eredményeként az ún. „fenntarthatósági értéket” kaptuk, ami egy dimenzió nélküli számérték. Ennek az értéknek önmagában jelentést egyáltalán nem tulajdonítok, ez csupán a rangsorolás alapja és a technológiák egymáshoz viszonyított pozíciójára utal fenntarthatósági kritériumok alapján vizsgálva. Végül a relatív rangsort is sztenderdizáltam az eredmények könnyebb értelmezhetősége érdekében. Erre azért volt szükség, mert a negatív vagy pozitív előjelű β koefficiensek miatt előforduló negatív fenntarthatósági érték hibás, nem szándékozott következtetéseket sugallna egyes technológiák fenntarthatósági teljesítményéről.

A technológia-értékelés során a lehető leginkább igyekeztem különválasztani a technológiák globális és hazai értékelését. A technológiailag fejlettebb országokban érvényes költség, hatékonyság és egyéb jellemzők nem biztos, hogy Magyarországra is ugyanúgy érvényesek. Az attribútumok közül a hazai értékelés céljaira teljesen vagy részben hazai szakirodalmi adatokat használtam fel a költség és a munkahelyteremtés esetén. Az egyéb káros környezeti hatások esetén is eltérő értékeket vettem figyelembe, mint ahogy az előző fejezetben ezt láthatták. Véleményem szerint a felsorolt attribútumok közül leginkább a költségek esetén fontos magyarországi adatokkal számolni, hiszen itt feltételezhető a legnagyobb fajlagos különbség más országokhoz viszonyítva.

4.7. A fenntarthatósági értékek érzékenységvizsgálata rugalmasság-elemzéssel

Az érzékenységvizsgálat, tehát a különböző inputadatok hatásának vizsgálata az eredmény varianciájára különösen jelentős az eredmények értelmezésének tekintetében. Az érzékenységvizsgálat hozzásegíti az értékelést végzőt azon potenciális beavatkozási

pontok felismeréséhez, ahol a technológiai vagy egyéb változtatások a leghatékonyabban növelik a fenntarthatósági értéket.

Mivel a technológiák attribútum-értékei (a légszennyezés, a helyi jövedelem biztosítása stb.) sok esetben igen jelentős eltéréseket mutatnak az egyes technológiák között, azok „fejlődése” nem mindig ugyanolyan mértékben növeli jelen fenntarthatósági értékelés elsődleges eredményét, a technológia fenntarthatósági értékét. Az érzékenységvizsgálat éppen ebben segít: kiszámítható, hogy pl. egy tetszőleges technológia területigényének csökkenése hogyan változtatja meg az adott technológia, illetve az összes vizsgálatba bevont technológia átlagos fenntarthatósági értékét.

Kutatásom szempontjából két különböző típusú inputról beszélhetünk, melyek változása átalakítja az értékeket és így a relatív rangsort is: egyrészt megváltozhatnak az energiagazdálkodás prioritásai, ami a szakértői preferenciarendszer átalakulásában képeződhet le. Ebben az esetben az egyes attribútumok súlyainak szerkezete alakul át. Másrészt a technológiák folyamatosan alakulnak a hét fenntarthatósági jellemző tekintetében, például erőteljesen növekszik a napelemek hatásfoka (energiahatékonyság és területigény), csökkennek a költségei, vagy káros környezeti hatásokat küszöbölnék ki a ritkafémek csökkenő felhasználásával. Az érzékenységvizsgálat során tehát a súlyok és a technológiai attribútum-értékek változásának hatását kell vizsgálnunk a fenntarthatósági értékre.

Az érzékenységvizsgálatot rugalmasság-elemzéssel (elaszticitás) végeztem el. A rugalmasság-vizsgálat során a bemeneti változók változásának hatására bekövetkező eredményváltozást vizsgáljuk. Jelen esetben ez egyrészt a súlyok ((8) egyenlet) változásának, illetve az egyes attribútum-értékek ((9) egyenlet) változásának hatása a fenntarthatósági értékre.

A súlyok változásainak vizsgálatából a súly-rugalmassági együtthatókat nyertem (εW_i) (8). A szakértői felmérésből származó súlyok közül minden esetben egy értéket növeltem egy százalékkal, és a többi attribútum súlyát összesen egy százalékkal csökkentettem. A kialakult új fenntarthatósági értékek és az eredetiek közötti különbségnek az eredeti fenntarthatósági értékekkel átlagát osztottam a súlyváltoztatás arányával (1%-kal).

$$\varepsilon W_i = \Delta \underline{SV} / \Delta W_i \quad (8)$$

ahol: εW_i az i-ik attribútum súlya; $\Delta \underline{SV}$ a fenntarthatósági értékek változásának átlaga

Az attribútum-értékek, tehát a technológiák változásának a fenntarthatósági értékre gyakorolt hatását a technológia-rugalmassági együtthatókkal (εA_j) mértem. Minden egyes technológia értékét külön-külön változtattam meg 1%-kal a hat attribútumban, egyenként. Az eredményeket egy $T \times A^{12}$ mátrixban regisztráltam. A hat attribútum súlya ebben az esetben változatlan. A globális technológia-értékelésben 10 villamos és 7 hőenergia-előállítási technológiát ($T = 17$), míg a hazai értékelésben 8 villamos és 6 hőenergetikai átalakítási módot szerepeltettem ($T = 14$).

A mátrix sorai (T) egy adott technológia attribútum-értékeinek egyedi technológia-rugalmasságát tartalmazzák (9a), ami azt fejezi ki, hogy az adott technológia fenntarthatósági értéke hogyan változik, ha egy attribútum értékét egy százalékkal növeltem.

$$\varepsilon A_j T_i = \Delta SV_i / \Delta A_j T_i \quad (9a)$$

ahol: SV_i a i-ik technológia fenntarthatósági értéke; $A_j T_i$ az i-ik technológia j-ik attribútumának értéke

$$\varepsilon A_j = \Delta \underline{SV} / \Delta A_j T_i \quad (9b)$$

ahol: $\Delta \underline{SV}$ a fenntarthatósági értékek változásának átlaga

Végül ezeket az egyedi technológia-rugalmasságokat minden attribútum szerint (minden A oszlopban) külön a villamos és a hőenergia esetére összegeztem, és átlagát osztottam az attribútum-érték változásának arányával (1%).

¹² T jelöli a technológiák, míg az A az attribútumok számát.

4.8. A projektszintű értékelés kerete

A témafelvetésben megfogalmazott célok egy része (beruházási támogatás, kamattámogatás) megköveteli, hogy a megújuló energiaforrások hasznosítását ne csak általános technológiai szinten, hanem egyedileg, projektszinten is értékelni tudjuk. A hazai prioritásokat (szakértői felmérés) mikroszinten is érvényesnek feltételezve tehát két vagy több projekt tényadatokon alapuló összehasonlítására is alkalmassá szerettem volna tenni jelen fenntarthatósági értékelést. A következőkben a projektszintű értékelés módszertani keretét mutatom be.

Első lépésként a projektek attribútumokra vonatkozó adatainak összegyűjtését kell elvégezni. Egyedi szinten minden információ hasznos lehet: például a lokális jövedelem szempontjából fontos lehet, hány helyi alvállalkozó kerül bevonásra az üzemeltetés során. Célszerű minden esetben esettanulmányt készíteni a projekt szempontjából kompetens személyek bevonásával. Az értékelés pontossága nagyban függ az itt szerzett adatoktól, ezért kiemelten fontos az interjúalanyok segítőkészsége.

Az összehasonlítandó (értékelendő) projektek adatai immár adatbázisba rendezhetők, mely tartalmazza a legfontosabb információkat (**14. táblázat**). Az általános jellemzők a beruházás precíz leírását biztosítják, illetve a fajlagos adatok létrehozásához szükségesek. Az attribútum-jellemzők értékei az összehasonlítás alapjai. Az adatbázisban az attribútumok súlyai is szerepelnek. A súlyokat biztosító szakértői felmérés bizonyos időszakonként megismételhető.

14. táblázat: A projektértékelő adatbázis tartalma

Általános jellemzők	Attribútum-jellemzők
• helyszín • átadás ideje (tervezett) • technológia leírása • beruházás értéke • tervezett élettartam • kapacitás • termelt energiamennyiség	• fajlagos CO₂ ekv. elkerülés • fajlagos területigény • energiahatékonyság (CED) • egyéb káros környezeti hatás • fajlagos beruházási érték • fajlagos működési költség • fajlagos munkahelyteremtés • fajlagos lokális jövedelem • <i>attribútumok súlyai</i>

Forrás: saját szerkesztés

Második lépésként – a technológia-értékeléshez hasonlóan – az attribútum-értékek sztenderdizálása ((7) egyenlet) és aggregálása következik (**4.6. alfejezet**). A sztenderdizálás következtében két lehetőség (projekt) összehasonlítása esetén bináris értékek (0 – 1) alakulnak ki, a szofisztikáltabb értékeléshez kettőnél több opció összehasonlítására kell törekednünk. Természetesen a rangsor páros összehasonlítás esetén is kialakul. Hasonlíthatjuk a lehetőségeket valamilyen referencia-beruházáshoz is. Előzetes értékelés esetén számolhatunk egy üzem minimális és maximális hozamával is, ezzel összehasonlítva más lehetőségeket, esetleg már üzemelő egységeket. Disszertációm **5.6. alfejezetében** erre mutatok be egy példát.

A következőkben a sztenderdizált attribútum-értékeket a fenntarthatósági jellemzők (attribútumok) súlyaival korrigáljuk. Ezek után a kapott értékeket összegezzük és az aggregált fenntarthatósági érték szerint csökkenő sorrendbe rendezve megkapjuk a fenntarthatósági szempontból kialakult relatív projekt-rangsort. További érzékenységvizsgálat is elvégezhető annak feltárása érdekében, hogy az attribútum-értékek milyen mértékű változása változtatná meg a rangsort.

5. EREDMÉNYEK

Az itt következő fejezetben részletesen bemutatom vizsgálataim eredményeit. Elsőként a fenntarthatósági értékelés egyik alapvető fontosságú tényezőjét, a fenntarthatósági jellemzők súlyait szolgáltató, feltételes választás módszerével elvégzett szakértői felmérés eredményeit ismertetem. Ezt követően a technológia-értékelés globális és hazai szintjének eredményeit közlöm, illetve ezek érzékenységvizsgálatát, ami megmutatja, hogyan változik a technológiák értékelésre, ha változnak a műszaki-gazdasági paraméterek, illetve a fenntarthatósági jellemzők súlyai.

Későbbi fejezetekben a fenntarthatósági rangsor és a hazai megújuló energetikai potenciálbecslések alapján bemutatom hazánk aktuálisan optimális megújuló energiakeverékének becslését. Végül a projekt-szintű fenntarthatósági értékelés lehetőségeit mutatom be miskolci esettanulmány segítségével.

5.1. A szakértői felmérés jellemzői

A 172 kiválasztott szakértőből 52 fő töltött ki kérdőívet, ami 30,2%-os visszaérkezési arányt jelent. Ez az arány magasnak minősíthető, ezért úgy gondolom, hogy helyes volt a szakértőkkel kapcsolatos feltételezésem, miszerint hajlandóak lesznek kitölteni még egy ilyen viszonylag nehéz feladatot jelentő kérdőívet is. A szakértők közül 23 felsőfokú végzettséggel, 27 pedig PhD fokozattal rendelkezett¹³.

A szakértői minta reprezentativitását nem vizsgáltam, mivel a szakértőket tudásuk alapján vontam be a megkérdezettek körébe. A felmérés céljainak szempontjából a szakértői ismeretanyag és a feltételezett, korábban leírt kompetenciák lényegesek, nem pedig az, hogy a minta képviselheti-e egy adott sokaság véleményét. Az általam megkeresett 172 szakértő a hazai szakértők teljes sokaságaként értelmezhető¹⁴. Ebből a sokaságból bármelyik személy véleményét egyenrangúnak ismertem el. Másképpen fogalmazva: a szakértőket ismereteik jogán kerestem meg, az hogy éppen nők vagy

¹³ Két kitöltő nem válaszolta meg a kérdést.

¹⁴ Ha esetleg a kedves Olvasó kimaradt volna a felmérésből, az pusztán a véletlennek köszönhető, és ezúton kérem elnézését.

férfiak, vidékiek vagy városiak irrelevánsnak tekinthető. Emiatt a szokásos értelemben vett (demográfiai, földrajzi) reprezentativitásról sem beszélhetünk.

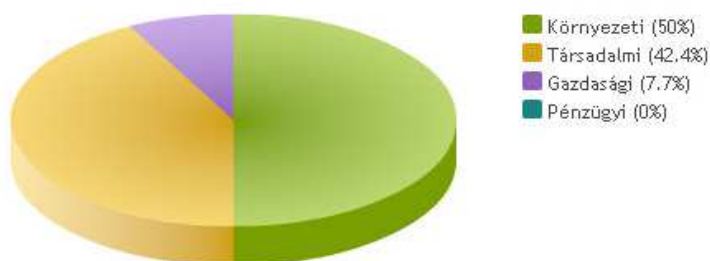
A kérdőíves szakértői felmérés eredményei a bevezető és az attitűdre vonatkozó kérdések tekintetében nyilvánvalóak. A társadalmi és környezeti problémák megoldása égetőbb a szakértők szerint (4,65 ill. 4,63; egytől ötig terjedő skálán), mint a gazdasági problémáké (4,19).

Figyelemre méltó, hogy a társadalmi dimenzió milyen magasan preferált a szakértők körében, különösen a gazdasági nehézségektől terhelt 2011-es évben. A szakértők felelősségtudatát bizonyítja, hogy a gazdasági visszaesésnek a következményeit tekintik elsődlegesnek, ami végső soron társadalmi problémákban mutatkozik meg.

Látszólag ellentmond ezen eredményeknek a felmérés utolsó, ellenőrző kérdésére¹⁵ adott válaszok aránya, ahol a szakértők fele már egyértelműen a környezeti dimenziót jelölte meg legfontosabbnak (**15. ábra**). Ebben az esetben a szakértőket választásra kényszerítettem, és egyértelműen kinyilvánították a környezeti elemek elsődlegességét, de a társadalmi szféra fejlődése is fontosnak mutatkozott értékelésükben. A gazdasági kérdések háttérbe szorulása ez esetben is megfigyelhető. A felmérésben részt vevő szakértők tehát elismerik és vallják az ökológiai tényezők prioritását, de közel annyira égetőnek érzékelik a társadalmi feszültségeket.

15. ábra: A fenntarthatóság dimenzióinak megítélése

A fenntartható fejlődés dimenziói közül melyiket érzi legfontosabbnak?



Forrás: saját szerkesztés

¹⁵ A „pénzügyi” dimenziót szándékosan tettem be a válaszlehetőségek közé mint az ellenőrző (validáló) kérdés hibás válaszát, de egyik szakértő által kitöltött kérdőívet sem kellett kiszűrni az ellenőrző kérdésen adott hibás válasz miatt.

Izgalmas lehetőséget rejt magában a felmérés periodikus megismétlése, adott esetben akár panelfelmérés keretében is. A gazdasági konjunktúra és a társadalmi változások valamekkora hatást bizonyára gyakorolnak a szakértői preferenciákra is. Jelen környezetben azonban középtávon mindenképpen érvényesnek és hasznosíthatónak tartom a felmérés során nyert súlyokat a fenntarthatósági értékelésben, hiszen a témafelvetésben leírt alkalmazási területek (támogatási rendszerek, ex ante program-értékelések) ilyen időtávon felülvizsgálandók, változtathatók, ismételendők. Az operatív programok kialakítása például eleve szakaszosan ismétlődő folyamat, míg a technológiák fejlődésével a villamos energia kötelező átvételi rendszere is szükségszerűen időről-időre ellenőrizendő.

5.2. A fenntarthatósági jellemzők súlyai szakértői felmérés alapján

A kérdőívekben kitöltött 9-9 választási kártya alapján számítottam ki az egyes attribútumokhoz tartozó β koefficienseket (15. táblázat). Látható, hogy az „energiahatékonyság” attribútumon kívül mindegyik szignifikáns 95%-os szinten.

A β koefficiensek előjelei megfelelnek az elvárásoknak: a pozitív előjelek arra utalnak, hogy a szakértők inkább választanak olyan alternatívát, amelyben magasabb az energiahatékonyság, új munkahelyek teremthetnek és magasabb a helyi jövedelem. Ezekben az esetekben az attribútumok értéke és választás valószínűsége (magasabb hasznosságérzet) között pozitív a kapcsolat. A negatív előjelű attribútumok esetén viszont a kapcsolat fordított, ezek a negatív hatások. Az előjelek tehát a hasznosság változása és az adott attribútum közötti kapcsolatot jelzik, például ha nőnek a költségek, csökken a hasznosság, de minél több a lokális jövedelem, annál valószínűbb az adott alternatíva választása, mert nagyobb az ehhez kötődő hasznosságérzet.

Az exponenciális β koefficiensek a megkérdezettek hasznosságérzetében bekövetkező változás mértékéről tájékoztatnak bennünket. Megmutatják, milyen mértékben változik a hasznosság egy adott attribútum egységnyi értékváltozásának hatására. Például 1,6%-kal csökken a hasznosság ($1 - 0,984 = 0,016$) a költségek egy százalékos növekedésének hatására, és 2,3%-kal nő a munkahelyek 1%-os növekedésének hatására.

A helyi jövedelem egységnyi növekedése a hasznosság 2,9%-os növekedését jelenti, a területigény hasznosság-változásra való hatása pedig még ennél is magasabb: 3,2%.

15. táblázat: A feltételes választással végzett felmérés eredményei a CL modellben

Attribútum	β	exp. β	SE	p
ASC	1,66407	5,281	0,29079	1,00E-08*
Légszennyezés	-0,01156	0,989	0,00226	3,00E-07*
Területigény	-0,03243	0,968	0,00865	1,80E-04*
Energiahatékonyság	0,00444	1,004	0,00434	3,10E-01
Egyéb káros környezeti hatás	-0,01178	0,988	0,00368	1,40E-03*
Költségnövekedés	-0,01656	0,984	0,00374	9,70E-06*
Keletkező új munkahely	0,02246	1,023	0,00959	1,90E-02*
Helyi jövedelem	0,02835	1,029	0,01325	3,20E-02*
Pseudo- R^2	0,1229			

* szignifikáns 95%-os szinten

Likelihood ratio test=126, 8 szabadságfokon, $p < 0,001$, $n = 1404$, esetszám = 468

Exp. β koefficiens = e^β

Forrás: saját számítások

A β koefficiensek önmagukban az attribútumok döntésekben és a hasznosságérzetben betöltött szerepére utalnak (l. (6) egyenlet). A legmagasabb β érték a területigény esetén figyelhető meg (-0,03243), ez véleményem szerint az élelmiszerbiztonság és a biomassza energetikai hasznosításának konfliktusa illetve az ezzel kapcsolatos intenzív viták miatt alakult ekképpen. Szintén magas a munkahely-teremtési és a helyi jövedelemmel kapcsolatos jellemzők β koefficiense. Az energiahatékonyság koefficiense meglepetésemre a legalacsonyabb (0,00444), bár ennél valószínűleg a többi fenntarthatósági jellemző valóban fontosabb. Szintén alacsony lett az ÜHG emisszió és a költség-attribútum β értéke.

Az egyéb káros környezeti hatások attribútumának β értéke kismértékben meghaladja az ÜHG kibocsátás attribútumának koefficiensét, ezért úgy gondolom, indokolt volt ennek beépítése az attribútumok közé. Ugyanezt érvényesnek vélem a két társadalmi attribútum esetén is.

A pseudo- R^2 érték a modell illeszkedésének vizsgálatának eszköze, a regresszió R^2 értékéhez hasonlóan a modell által magyarázható hatások mértékére utal. A nem-lineáris CE modellek pseudo- R^2 értéke a regressziós együttható magasabb értékének

feleltethető meg; 0,3-as pseudo- R^2 kb. 0,6-os R^2 értéket jelent (HENSHER et al., 2005). A pseudo- R^2 minimálisan elfogadható értéke 0,1 (LOUVIERE et al., 2000). Modellünk e feltételnek eleget tesz.

Mivel az energiahatékonyság attribútum β értéke statisztikailag nem bizonyult szignifikánsnak, az energiahatékonyság vizsgálatától az értékelés további lépései során eltekintettem. Annak a valószínűsége, hogy ezen attribútum β koefficiense 0,00444, 69%. Ebben az esetben ez az attribútum nagyságrendekkel alacsonyabb jelentőséggel bírna a többinél. Az, hogy ez az attribútum egyedülként nem mutat statisztikailag jelentős eredményt a felmérésben elhanyagolható jelentőségével vagy nehezen megfogható fogalmával magyarázható. A megújuló energiaforrások közül több esetben is végtelen (napenergia, szélenergia) vagy feltételezhetően végtelen (geotermikus és vízenergia) energiaforrásról beszélhetünk, ami háttérbe szorítja a primer energiaátalakítás hatékonyságának jelentőségét.

A szakértők megújuló energiaforrásokhoz kapcsolódó hasznossági függvénye látható a (10) egyenletben a **15. táblázat** eredményei alapján. Az ASC – mint alternatíva-specifikus konstans – a status quo választásának gyakoriságától függ. Az ASC azt jelöli, milyen gyakori az A vagy B alternatíva választása a válaszadók körében. Jelen felmérés során az 52 válaszadó az összes választás közül (468) mindössze 85 esetben választott status quo-t, ami 18%-os arányt jelent.

$$V_j = ASC_V - \beta_{Légszennyezés} A_{Légszennyezés} - \beta_{Területigény} A_{Területigény} - \beta_{Egyéb káros környezeti hatás} A_{Egyéb káros környezeti hatás} - \beta_{Költségnövekedés} A_{Költségnövekedés} + \beta_{Munkahely} A_{Munkahely} + \beta_{Helyi jövedelem} A_{Helyi jövedelem} \quad (10)$$

A preferenciarendszer jellemzésére kiválóan alkalmas a β koefficiensek segítségével közelíthető helyettesítési határhajlandóság (MRS) is ((11) egyenlet) (BAJI, 2012), ami nem mást fejez ki, mint hogy a megkérdezettek az egyes attribútumok értékéből mennyiről hajlandóak lemondani egy másik attribútum értékének növeléséért. Jelen esetben például a helyi jövedelem mekkora növekedésével kompenzálható az egyéb káros környezeti hatások növekedése, vagy a munkahelyteremtés alacsonyabb szintje. Az MRS segítségével levont következtetéseket fenntartásokkal kell kezelni, mivel a

modellünk nem-lineáris. Az MRS jelen esetben tehát csak a felmért állapottól való tetszőlegesen kicsi elmozdulás esetén megfigyelhető helyettesítésre érvényes.

Az MRS-t az angol nyelvű szakirodalomban az attribútumok „trade-off” rátájának is nevezik, mivel a vizsgált jószág vagy politika attribútumainak helyettesíthetősége, átválthatósága vizsgálható általa. Amennyiben a nem-monetáris attribútumokat viszonyítjuk a monetáris jellegűekhez (költség, ár) a „part-worth”, vagy „implicit price” kifejezések használatosak. KU és YOO (2010) ugyanezt a hányadost fizetési határhajlandóságnak (MWTP) nevezi.

$$MRS = -(\delta U / \delta A_i) / (\delta U / \delta A_j) = -(\beta_i / \beta_j) \quad (11)$$

Az attribútumok helyettesítési határrátája a **16. táblázat**ban látható. A táblázat soraiban látható attribútumok esetében az egyes oszlopok értékei azt jelzik, hogy azon attribútum (oszlop) mekkora növekedésével kompenzálható az adott attribútum (sor) egy százalékos növekedése, illetve csökkenése.

Például a légszennyezés egy százaléknyi növekedése a területfoglalás 0,36 százalékos csökkenésével egyenértékű, illetve a munkahelyek számának 0,51%-os növekedésével kompenzálható. A negatív MRS tehát az azonos irányú kapcsolatoknál figyelhető meg, amikor mindkét attribútum negatív vagy pozitív hatás.

A legmagasabb helyettesítési határrátája a területigény és az egyéb káros környezeti hatások között áll fent (-2,75). Magas az MRS a munkahely, ill. a helyi jövedelem és a területigény között is. A területigények egy százalékos csökkenéséért az új munkahelyek 1,44%-át, vagy a helyi jövedelem 1,14%-át áldoznák fel a válaszadók. A két környezeti attribútum (légszennyezés, ill. egyéb káros környezeti hatások) egyenrangúsága is megfigyelhető, ez esetben a β koefficiensek nagyon közeliek.

A társadalmi jellegű attribútumok jelentősége nem meglepő számomra, tekintve, hogy a megújuló energiaforrásoktól és általában a „zöld gazdaságtól” a szakértők és a döntéshozók egyaránt társadalmi előnyöket várnak a környezetterhelés csökkentése mellett. A területigény ilyen mértékű prioritása azonban nem várt eredmény, melynek

oka minden bizonnyal az élelmezésbiztonság és az energiaellátás konfliktusa körül kialakult intenzív vita.

16. táblázat: Az attribútumok helyettesítési határrátái (MRS)

	Légszennyezés	Területigény	Egyéb káros környezeti hatás	Költségnövekedés	Keletkező új munkahely	Helyi jövedelem
Légszennyezés	–	-0,36	-0,98	-0,70	0,51	0,41
Területigény	-2,81	–	-2,75	-1,96	1,44	1,14
Egyéb káros környezeti hatás	-1,02	-0,36	–	-0,71	0,52	0,42
Költségnövekedés	-1,43	-0,51	-1,41	–	0,74	0,58
Keletkező új munkahely	1,94	0,69	1,91	1,36	–	-0,79
Helyi jövedelem	2,45	0,87	2,41	1,71	-1,26	–

Forrás: saját számítások

Az általam használt attribútumok eltérőek a korábbi tanulmányok jellemzőihez képest. Közös pontok mindössze a foglalkoztatási, légszennyezési és költséghatások. Az eddigi hasonló felmérések eredményei meglehetősen változatos képet mutatnak. KU és YOO (2010) szerint a foglalkoztatás a leghangsúlyosabb jellemző (a hasznosság 35%-a). LONGO et al. (2008) az ÜHG emisszió mértékének elsődlegességét vonta le a többi attribútum elhanyagolhatósága mellett. Szintén a légszennyezés mértéke volt az elsődleges BERGMANN és mtsai (2006) munkája szerint.

Kutatásom során az eddigieknél több attribútumot alkalmaztam, többek között eddig nem vizsgált hatásokat is: területigény, egyéb káros környezeti hatások, lokális jövedelem. Az attribútumok számának növelése megnehezíti a felmérést: növeli a választási kártyák számát illetve megnehezíti a döntést magát. Ugyanakkor lehetővé teszi a hasznossági függvény pontosabb becslését, amit bizonyítottnak vélek az eddigi felméréseknél kiegyenlítettebb attribútum-koefficiens struktúra révén.

5.3. Technológia-szintű fenntarthatósági értékelés

A szakértői felmérést követő feladatom az értékelendő technológiák attribútum-értékekkel való jellemzése volt. Az értékek és a súlyok ismeretében a módszertani fejezetekben leírt kalkulációk már egyszerűen elvégezhetők a globális és a hazai technológia-értékelés során egyaránt. Először a globális értékelést mutatom be.

A globális technológia-értékelés eredményei

A globális technológia-értékelés attribútum-értékeit 68 adatforrásból, közel 60 tudományos közlemény felhasználásával adtam meg (az Irodalomjegyzékben ezeket külön megadtam). A közlemények egy része önmagában is összefoglaló jellegű volt. A légszennyezésen kívüli egyéb káros környezeti hatások értékelését a **4.2.1. alfejezetben** leírt módszer alapján végeztem el.

Egyes esetekben utólag kellett bizonyos technológiák értékelésből való kizárásáról döntenem megfelelő számú és minőségű adatok hiányában. Az értékelés módszeréből adódóan egyetlen attribútum esetén sem engedhető meg a vizsgált objektum (technológia) adathiánya. Ily módon kellett eltekintennem a hőszivattyús berendezések, a kisteljesítményű szélturbinák és a kapcsolt megoldások legtöbbjétől.

Összesen 17 technológiát vizsgáltam, 10 villamos energia és 7 hőenergia-előállítási módot. Ezek egyrészt az energiaforrás tekintetében, másrészt az energiaátalakítás módjában, harmadrészt pedig a méretezésben, a léptékben térnek el. A legtöbb technológia (7 db) a biomassza energetikai felhasználására épül a vizsgáltak közül, továbbá számoltam négy napenergia és három geotermikus energia-átalakítási technológiával.

17. táblázat: A technológiák attribútum-értékei a globális értékelésben

		Légszennyezés (g CO ₂ ekv./év)		Területigény (ha/kWh)		Egyéb káros környezeti hatás, (%)		Költségek, LCOE (€/kWh)		Keletkező új munkahely (fő/MW)		Helyi jövedelem (%)	
	Súly	-0,01156		-0,03243		-0,01178		-0,01656		0,02246		0,02835	
		a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b
	VILLAMOS ENERGIA												
1	CSP, naptorony	16,0	0,04	5,5	0,00	15,30	0,42	18,8	0,56	56,5	1,00	5,0	0,00
2	CSP, parabolatükör-rendszer	16,0	0,04	56,7	0,01	15,30	0,42	19,1	0,55	56,5	1,00	5,0	0,00
3	Vízerőmű, kicsi	10,5	0,00	660,0	0,11	9,13	0,00	6,5	0,98	31,4	0,51	7,5	0,05
4	Vízerőmű, nagy	10,5	0,00	660,0	0,11	9,13	0,00	5,8	1,00	11,5	0,11	10,0	0,09
5	Geotermikus erőmű	150,0	1,00	75,0	0,01	11,55	0,17	7,4	0,95	22,1	0,32	20,0	0,27
6	Szél erőmű	15,5	0,04	367,5	0,06	13,14	0,28	7,6	0,94	8,0	0,04	5,0	0,00
7	Biogázüzem	47,0	0,26	3555,0	0,6	23,67	1,00	14,0	0,72	6,6	0,02	60,0	1,00
8	Napelem (PV)	68,5	0,42	153,3	0,02	15,30	0,42	35,4	0,00	29,6	0,47	5,0	0,00
9	Biomassza erőmű, faelgázosítás	25,3	0,11	5965,0	1,00	23,67	1,00	8,3	0,91	5,9	0,00	50,0	0,82
10	Biomassza erőmű	48,3	0,27	5950,0	1,00	23,67	1,00	13,7	0,73	5,8	0,00	55,0	0,91
	HŐENERGIA												
1	Geotermikus távfűtés, nagyléptékű	170,0	0,00	267,5	0,96	11,50	0,00	6,9	0,00	38,7	1,00	10,0	0,08
2	Geotermikus távfűtés, kisléptékű	170,0	0,00	267,5	0,96	11,55	0,00	12,2	0,32	38,7	1,00	15,0	0,16
3	Egyedi biomassza fűtés, pellet	90,0	0,66	2670,0	0,55	23,67	1,00	13,5	0,4	5,3	0,00	67,0	1,00
4	Napkollektor	49,5	1,00	35,6	1,00	15,30	0,31	23,5	1,00	19,0	0,41	5,0	0,00
5	Egyedi biomassza fűtés, apríték	107,8	0,52	4310,0	0,28	23,67	1,00	10,6	0,22	5,3	0,00	60,0	0,89
6	Biomassza távfűtés, kisléptékű	107,8	0,52	5950,0	0,00	23,67	1,00	9,4	0,15	7,0	0,05	55,0	0,81
7	Biomassza távfűtés, nagyléptékű	107,8	0,52	5950,0	0,00	23,67	1,00	10,1	0,19	7,0	0,05	55,0	0,81

a abszolút értékben

b sztenderdizált

Forrás: saját szerkesztés több közlemény alapján (l. IRODALOMJEGYZÉK)

A globális technológia-értékelés eredményei láthatók a **17. táblázatban** és a **16. ábrán**. Általánosan elmondható, hogy a hasznosítás léptéke szerint megkülönböztetett technológiák viszonylagos pozícióját a munkaerő-intenzitás és a költségek határozzák meg. A kisléptékű hasznosítás magasabb fajlagos munkaerő-igénnyel, viszont a méretgazdaságosságnak köszönhetően a nagyléptékű hasznosítás alacsonyabb fajlagos költségekkel jellemezhető. Mivel az értékelésben e két attribútum ellentétes hatású (a munkaerőigény pozitív, a költség negatív), a kettő közötti különbség határozza meg a rangsort. A vízerőművek esetén a foglalkoztatási differencia jelentősebb, mint a pozitív volumenhozadék, a geotermikus távfűtés esetén viszont fordított reláció figyelhető meg. A méretgazdaságosság nem figyelhető meg minden esetben, például a kisléptékű biomassza-alapú távfűtés a szakirodalmi adatok alapján olcsóbb.

Foglalkoztatási hatásukat a teljes életcikluson keresztül figyelembe véve a technológiailag fejlettebb, nagyobb beruházást igénylő technológiák jelentősebbek a berendezések gyártásának és üzembe helyezésének szakaszában megfigyelhető magasabb munkaerőigény miatt. Ez megfigyelhető a nap- és geotermikus energiák hasznosítása terén is. Nemzetgazdasági szempontból ez viszont azt jelenti, hogy a foglalkoztatás egy jelentős része specifikus ágazatokban jelenik meg, így fokozottan indokolt a teljes vertikum támogatása (pl. napelem-előállítás).

A költségek terén – beruházási és üzemeltetési költségeiket egyaránt figyelembe véve – a szél-, geotermikus és vízerőművek, illetve a nagyléptékű geotermikus távfűtés a legkedvezőbbek, természetesen a fűtőanyagköltség hiánya miatt. A Nap energiáját hasznosító berendezések beruházási költségei még mindig igen magasak, amit az életciklus során az „ingyen” üzemanyag nem képes kompenzálni.

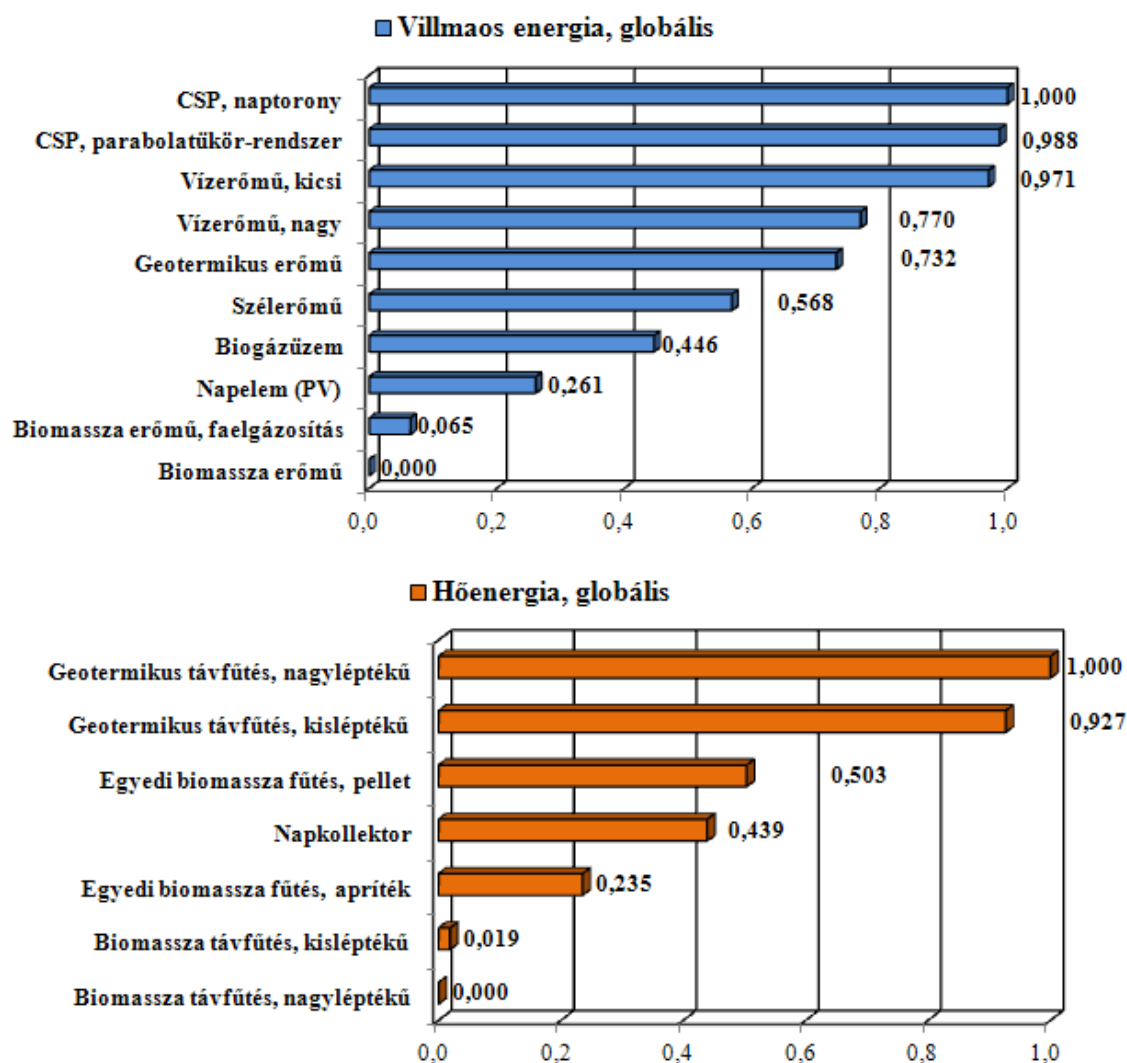
A helyben maradó jövedelem terén viszont – éppen az alapanyag miatt – a bioenergetikai eljárások sokkal előnyösebbek, a fa és más szerves alapanyag igen nagy valószínűséggel az adott régióból származik, mivel ezek szállítása nagy távolságra nem gazdaságos.

Légszennyezés – más szemszögből szén-dioxid kiváltás – szempontjából a bioenergetikai eljárások előnytelenek, de szintén életciklus-szemléletben a geotermikus energia felhasználásának technológiái tűnnek a leghátrányosabbnak a beruházási

szakasz magas kibocsátásai és a felszínre kerülő gázok miatt (EVANS, 2009; BÖHME et al., 2011).

Területigény tekintetében eléggé egyoldalú az összehasonlítás, hiszen komolyabb területfoglalással csak a biomassza hasznosítása és a vízerőművek jellemezhetők. Viszonylagos előny figyelhető meg ebből a szempontból a biogázüzemek terén, mivel ez esetben részben vagy egészében hulladékok energetikai hasznosítása történik, valamint az egyedi pellet-tüzelés esetében a magasabb fűtőérték és a megnövelt energiasűrűség miatt, ami viszont energiahatékonyság szempontjából előnytelen (energiabefektetés), ennek súlya azonban jóval alacsonyabb az értékelésben.

16. ábra: A villamos és hőenergia előállítási technológiák globális relatív rangsora és a fenntarthatósági értékek



Forrás: saját szerkesztés

A villamos energia előállításának módjai közül az első két helyen a relatív fenntarthatósági rangsorban a koncentrált napenergia-hasznosítás (CSP) technológiái találhatók. A CSP technológiák kiemelkedésének oka a megújulók terén viszonylag magas energiasűrűség (alacsony területigény), az erős munkahelyteremtő képesség és a csekély emisszió. A CSP technológiák olyan mértékben előnyösek ezen attribútumok terén, hogy a rangsor élére kerültek a legalacsonyabb helyi jövedelem dacára is. Kevésbé jelentős jellemzők terén (költségek, egyéb környezeti hatások) jónak-közepesnek tekinthetők. A parabola-tükör rendszerű erőművek valamivel magasabb területigényük és költségeik miatt kerültek a második helyre.

Energiaforrásként szintén előnyös, technológiai szemléletben az 3. és 4. helyet foglalja el a vízenergia-hasznosítás. E technológiák a legelőnyösebbek mindkét környezeti jellemző és a költségek alapján, ezek a „közepesen erős” attribútumok. A kis vízerőművek fajlagosan magasabb foglalkoztatással jellemezhetők, így ezek kerültek a magasabb pozícióba.

A geotermikus és szél erőművek a relatív rangsor közepén helyezkednek el. Mindkét technológia alacsony költségekkel és területigénnyel jellemezhető, de előbbi legmagasabb emissziói állnak a viszonylag magas munkahelyteremtő hatással és helyi jövedelemmel szemben, utóbbi esetén pedig az elhanyagolható pozitív társadalmi hatásokat kompenzálja az igen alacsony emisszió.

A rangsor utolsó négy helyén három bioenergetikai eljárás és a fotovoltaikus villamos energia előállítás (PV) áll. A biogáz-előállítás a biomassa közvetlen eltüzelésén alapuló eljárásokat alacsonyabb területfoglalásával (hulladékhasznosítás) és a legmagasabb fajlagos helyi jövedelemmel mülja felül. A PV technológia a legmagasabb költséggel és a legalacsonyabb helyi jövedelemmel jellemezhető viszonylag sok környezetterhelés mellett. A faelgázosítás eljárásai a magasabb hatásfok következtében megfigyelhető alacsonyabb légszennyezés és költségek révén előzhetik meg a hagyományos eltüzelés technológiáját.

A hő-célú energiaátalakítás technológiái nem olyan sokszínűek, csak három energiaforrás (Nap, Föld, biomassa) vehető figyelembe. A technológiák leginkább a felhasználók száma szerint (egyedi / távfűtés), illetve méret szerint differenciáltak.

A méretezés különbségéből adódó eltérés a technológiák között nem olyan jelentős, mint a vízerőművek esetén a villamos energia előállítás során (21%), a fenntarthatósági érték különbsége a biomassza távfűtés esetén 1,9%, a geotermikus rendszerek esetén pedig 7,3%. Egyedül az egyedi biomassza fűtés esetén tapasztalható jelentősebb eltérés (26,9%), ez az alapanyag-előállítás területigényéből adódik, ami pellet esetén kisebb.

A geotermikus távfűtés minimális területigénnyel, költségekkel, viszont a legmagasabb új munkahellyel jellemezhető. Mint ahogyan azt már korábban leírtam, a kisléptékű hasznosítás magasabb helyi jövedelemmel jellemezhető, de ezt az előnyt háttérbe szorítja a jelentősen magasabb költség, ezért itt a nagyléptékű hasznosítás az előnyösebb. A geotermikus beruházások esetén egyes fix költségek igen magasak (kutatás, fúrás, speciális berendezések), így egy kisebb rendszer beruházási költségei is meglehetősen magasak és ugyanúgy terhelik a beruházást teljes életciklusán keresztül.

A napkollektoros hőhasznosítás közepesen előnyös megoldás. A legkevesebb légköri emisszió, a legkisebb fajlagos terület és viszonylag magas munkahely-teremtési potenciál jellemzik, ezzel szemben viszont ez a legdrágább technológia, ami minimális helyi jövedelmet termel.

A biomassza-alapú távfűtési rendszerek mindössze helyi jövedelem szempontjából tűnnek ki, környezetterhelésük és területigényük viszont magas, ez utóbbi az értékelés legerősebb attribútuma.

A hazai technológia-értékelés eredményei

A hazai technológia-értékelés esetén feltételeztem, hogy a költség, munkahelyteremtés és egyéb káros környezeti hatás attribútumok jelentősen eltérhetnek a nemzetközi viszonyoktól. A többi attribútum inkább műszakilag determinált, ezért a többi attribútum esetén az egyébként sokkal nagyobb szakirodalmi adatbázisra támaszkodtam (globális technológia-értékelés).

Mivel a hazai jelentőségű attribútumok esetében nagyszámú közlemény összehasonlítására nem volt mód, ezért megpróbáltam a legmegbízhatóbb

adatforrásokra támaszkodni az egyes technológiák attribútum-értékei tekintetében. A költségek esetében a Magyar Energetikai Hivatal megbízásából a Pylon Consulting Kft. által készített benchmark elemzést (PYLON, 2010a), a foglalkoztatási hatás megadásakor pedig az ESSRG tanulmányát (KOHLHEB et al., 2010) vettem figyelembe.

Szerettem volna a területigény esetén is hazai adatokat megadni, de kutatásom során nem találtam olyan közleményt, amely az előállított energiamennyiségre vetítette a területfoglalást. A MW-ra vonatkoztatott területigény-becslés torzuláshoz vezet, mivel az állandó alapanyag-ellátást biomassza esetén nem veszi figyelembe. A nemzetközi szakirodalomban a kWh, vagy GJ egységben megadott területfoglalás közlése jellemző. Az egyéb káros környezeti hatások megadásakor a **4.2.1. alfejezetben** kiszámított arányokat vettem figyelembe, az ökoszisztéma-szolgáltatások hazai értékelése alapján.

A **18. táblázatban** és a **17. ábrán** a hazai technológia-értékelés eredményei láthatók. A villamos energia előállítás tekintetében hazai körülmények között a biogázüzemek létesítése tűnik fenntarthatósági szempontból leginkább előnyösnek. A hulladékhasznosítás miatt ezek területigénye és egyéb káros környezeti hatása a többi bioenergetikai eljárásnál alacsonyabb, viszont társadalmi szempontból ez a technológia kiemelkedő: fajlagosan a legmagasabb foglalkoztatási és lokális jövedelmi hatással jellemezhető.

A szélérőművek igen alacsony környezetterhelésük és legalacsonyabb teljes előállítási költségeiknek köszönhetően kerültek a rangsor második helyére annak ellenére, hogy társadalmi pozitív hatásaik az összehasonlításba bevont technológiák közül a legalacsonyabbak.

A vízerőművek szintén hatékony, tiszta, alacsony terület-lekötésű és gazdaságos villamos energiatermelési lehetőségek, de közepes munkahelyteremtő-potenciáljuk és alacsony helyi jövedelmük miatt a 3. és 4. helyre kerültek a rangsorban. A nagyléptékű hasznosítás magasabb fajlagos társadalmi hatásainak köszönhetően került előkelőbb rangsorolásra, annak ellenére, hogy ezen beruházásokat jobban terheli a tereprendezés és a gátak kialakításának magas költsége, így fajlagos költségeik magasabbak.

18. táblázat: A technológiák attribútum-értékei a hazai értékelésben

		Légszennyezés (g CO ₂ ekv./év)		Területigény (ha/kWh)		Egyéb káros környezeti hatás, (%)		Költségek, LCOE (HUF/kWh ill. GJ)*		Keletkező új munkahely (munkaév/MW)**		Helyi jövedelem (%)	
	Súly	-0,01156		-0,03243		-0,01178		-0,01656		0,02246		0,02835	
		a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b
VILLAMOS ENERGIA													
1	Biogázüzem	47	0,26	3555	0,59	42,15	0,62	36,5	0,48	434	1,00	60	1,00
2	Szélerőmű	15,5	0,04	367,5	0,05	10,19	0,00	13,7	0,00	7	0,00	5	0,00
3	Vízerőmű, nagy	10,5	0,00	660	0,10	49,95	0,77	24,3	0,23	189	0,43	10	0,09
4	Vízerőmű, kicsi	10,5	0,00	660	0,10	49,95	0,77	19,9	0,13	180	0,41	7,5	0,05
5	Geotermikus erőmű	150	1,00	75	0,00	22,61	0,24	33,2	0,41	35	0,07	20	0,27
6	Napelem (PV)	68,5	0,42	153,25	0,01	11,84	0,03	60,8	1,00	66,5	0,14	5	0,00
7	Biomassza erőmű	48,25	0,27	5950	1,00	62,07	1,00	27,7	0,30	105	0,23	55	0,91
8	Biomassza erőmű, faelgázosítás	25,25	0,11	5965	1,00	62,07	1,00	42,3	0,61	105	0,23	50	0,82
HŐENERGIA													
1	Geotermikus távfűtés	170	1,00	267,5	0,04	22,61	0,21	2311	0,00	102	0,86	12,5	0,01
2	Biomassza CHP	107,75	0,48	2380	0,40	62,07	1,00	4857	0,71	108	0,94	60	0,87
3	Biomassza központos hőellátás, pellet	107,75	0,48	2670	0,45	62,07	1,00	5916	1,00	93	0,72	67	1,00
4	Napkollektor	49,5	0,00	35,21	0,00	11,84	0,00	4905	0,72	68	0,36	12	0,00
5	Biomassza távfűtés	107,75	0,48	5950	1,00	62,07	1,00	3490	0,33	112	1,00	55	0,78
6	Egyedi biomassza fűtés, apríték	90	0,34	4310	0,72	62,07	1,00	3258	0,27	43	0,00	60	0,87

a abszolút értékben

b sztenderdizált

*PYLON, 2010a

**KOHLHEB et al., 2010

Forrás: saját szerkesztés több közlemény alapján (l. IRODALOMJEGYZÉK)

A geotermikus villamos energia előállítás magas légköri emisszióval és alacsony foglalkoztatással jellemezhető, míg a PV technológia esetén figyelhető meg a legmagasabb előállítási költség és legalacsonyabb helyi jövedelem. A biomassza erőművek környezeti hatásaik és magas területigényük miatt kerültek a rangsor végére.

A hőelőállítás esetében a bioenergetikai eljárások meglehetősen „távol kerültek egymástól”. Társadalmi hatásaikat tekintve az eljárások hasonlóak, ezért a rangsort köztük leginkább a területigény alakítja: a kogeneráció magasabb energiatermelése miatt a fajlagos területigény alacsonyabb, a pellet-tüzelésű központos hőellátás esetén pedig a pelletálás során megnövelt energiasűrűségnek köszönhető a kisebb területfoglalás. A központos hőellátás legmagasabb hőelőállítási költségei ellenére került így a 3. helyre, két bioenergetikai fűtési módot is megelőzve.

A pelletálás munkaerőigényét a nemzetközi publikációkban, melyek a globális értékelés alapjául szolgáltak, életciklus-szemléletben adták közre. A hazai értékelés alapjául szolgáló tanulmány alapján (KOHLHEB et al., 2010) az általános, bioenergetikai eljárásokra jellemző munkaerőigényhez hozzáadtam a pelletálás közlemény által kimutatott munkaerő-felhasználást.

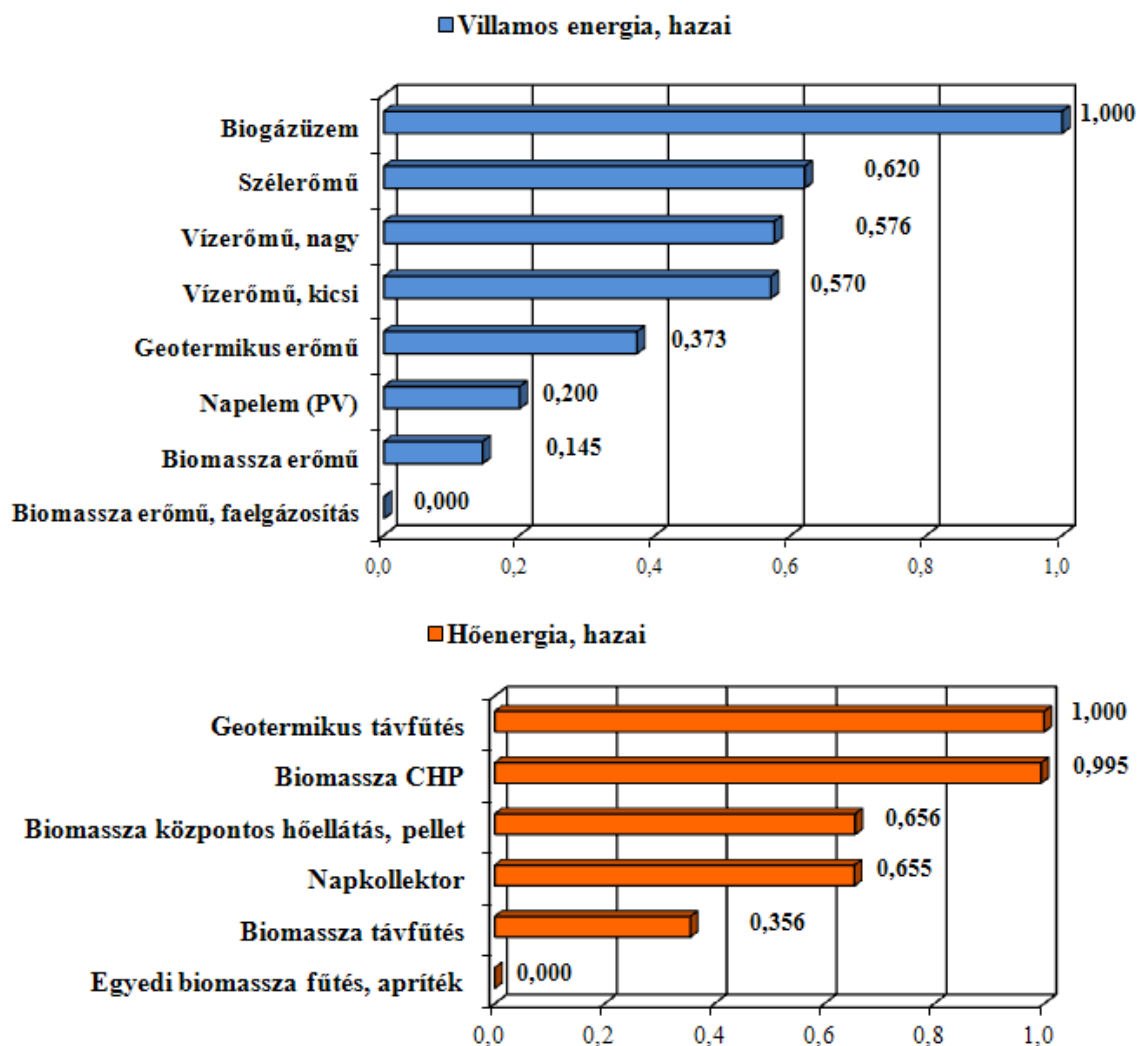
A geotermikus távfűtés alacsony területigényű, de munkaigényes technológia, így került az első helyre. A napkollektoros fűtés a legtisztább és a leginkább terület-hatékony, de a helyi jövedelem-termelő képessége alacsony és az energia-előállítási költség is magas, ezért közepes fenntarthatósági értéket kapott.

A hazai rangsor rámutat a bioenergetikai eljárások sokszínűségére, a villamos energia előállítása elsősorban hulladékokra és melléktermékekre alapozott biogázüzemekben előnyös, a hőtermelés pedig kogenerációval vagy közepes méretű rendszerekben (intézményfűtés). Szintén célszerű a hazai geotermikus potenciál kiaknázása, hiszen ez az energiaforrás fenntarthatósági szempontból villamos energia előállítására közepesen, hőtermelésre viszont kifejezetten előnyös.

A villamos energetikai rangsor első felében pozícionálódtak a szél- és vízenergia-hasznosítás. Fenntarthatósági szempontból tehát fontos lehet e két energiaforrás arányának növelése a megújuló energiakeverékben. Ráadásul a szélenergia nagyarányú

hasznosításának gátja a villamos energiarendszer szabályozhatóságára kifejtett negatív hatása, ami a vízenergia segítségével csökkenthető, akár szivattyús-tározós, akár hagyományos vízerőművek segítségével.

17. ábra: A villamos és hőenergia előállítási technológiák hazai relatív rangsora és a fenntarthatósági értékek



Forrás: saját szerkesztés

A globális és hazai rangsor között villamos energiatermelés esetén a legnagyobb különbség a biogáz-előállítás pozíciójában van. Ennek oka a munkahelyteremtés adataiban rejlő különbség, globálisan a biogázüzemek a munkaerőigény rangsor végén találhatók, az ESSRG tanulmányában a biogázüzemek munkaintenzitása az életciklus során kimagasló, még hulladékhasznosítás esetén is. Hazai projektek adatai alapján csak

a közvetlen munkahelyteremtő hatás biogázüzemek esetében 5-10 fő/MW, ami igazolja a tanulmány adatainak helyességét.

Bár a két értékelésben az adatforrások különbsége miatt nincs teljes átfedés a technológiák között, a legtöbb esetben megfigyelhető a két különböző szintű értékelés eredményeinek hasonlósága. Az elemzés mindkét léptékén egyértelmű a vízenergia hasznosításának előnye, valamint az, hogy a PV technológia a legkevésbé előnyös nem bioenergetikai eljárás. A hőtermelési eljárásokat vizsgálva a geotermikus távfűtés előnye mindkét elemzésben egyértelmű, továbbá egyöntetűek a rangsorok a pellet-tüzelés, napkollektoros rendszer, biomassza-távfűtés viszonyában is.

A következő alfejezetekben tovább elemzem a jelen alfejezetben bemutatott technológiai relatív rangsort és az annak alapját képző fenntarthatósági értékeket. Megvizsgálom, hogyan változnak az értékek a bemeneti adatok változásának hatására, amivel a gazdasági és technológiai környezet változásának hatásait modellezem. A későbbiekben a relatív rangsor alapján becsülöm hazánk optimális megújuló energiaforrásokra alapozott energiamixét.

5.4. A globális villamos energia rangsor alakulása a 2030-ig várható technológiai fejlődés hatására

Az eredmények eddigi ismertetése során a különböző technológiák pillanatnyi értékeit vettem alapul. A jelen és a következő fejezetben azonban az eddigi statikus technológia-értékelést a technológiai fejlődés dinamikáját érvényesítve elemzem.

A megújuló energiaforrások hasznosításának technológiai meglehetősen eltérnek egymástól a technológia „korát” tekintve. A vízenergia-hasznosítás és a bioenergetika egyes módjai több évszázados múltra tekintenek vissza, míg más technológiák mai formájukban csak néhány évtizede üzemelnek ipari léptékben. Ebből kifolyólag egyes technológiák már a fizikai határok közelében termelnek energiát, míg mások fejlesztésében jelentős hatékonyságnövelési és költségcsökkentési potenciál rejlik. Jelen fejezetben a villamos energia előállítását célzó, megújuló energiaforrásokra alapozott technológiák várható költség- és hatásfok-változását figyelembe véve mutatom be a relatív rangsort a 2030-ra vonatkozó előrejelzések alapján.

A költségek változása a fenntarthatósági elemzés költség-attribútumára van hatással, a hatásfok változása viszont tulajdonképpen ezen kívül mindegyikre. Mivel az értékelésben az egyes attribútumok fajlagos értékei szerepelnek a technológiák tekintetében, ha a hatásfok javul, akkor az egy termelőegységre (egy szélérőmű, biogázüzem stb.) jutó környezetterhelés, munkaerő-felhasználás és jövedelem változatlan, de az előállított energia egységére vetített (fajlagos) értékek csökkennek. Természetesen ezeken kívül az attribútumok önálló értékének változását is be lehetne építeni az előrejelzésbe, erre azonban rendelkezésre álló adatok hiányában nem volt lehetőségem. A költségek változásait az UNEP (2011) előrejelzéseinek átlaga alapján, míg a hatásfok várható alakulását az IPCC (EDENHOFER et al, 2011.) tanulmányára alapozva kalkuláltam (**19. táblázat**). A geotermikus energia segítségével történő villamos energia előállítását a adatok hiányában nem tudtam beépíteni az előrejelzésbe.

A költségek tekintetében leginkább a napenergia-hasznosítás meglehetősen „fiatal” technológiai kecsegtetnek a legintenzívebb fejlődéssel, a bioenergetikai eljárások azonban várhatóan drágulnak majd az alapanyagigények oldaláról bekövetkező keresletnövekedés miatt (UNEP, 2011).

19. táblázat: A költségek és a hatékonyság várható alakulása 2030-ig, %.

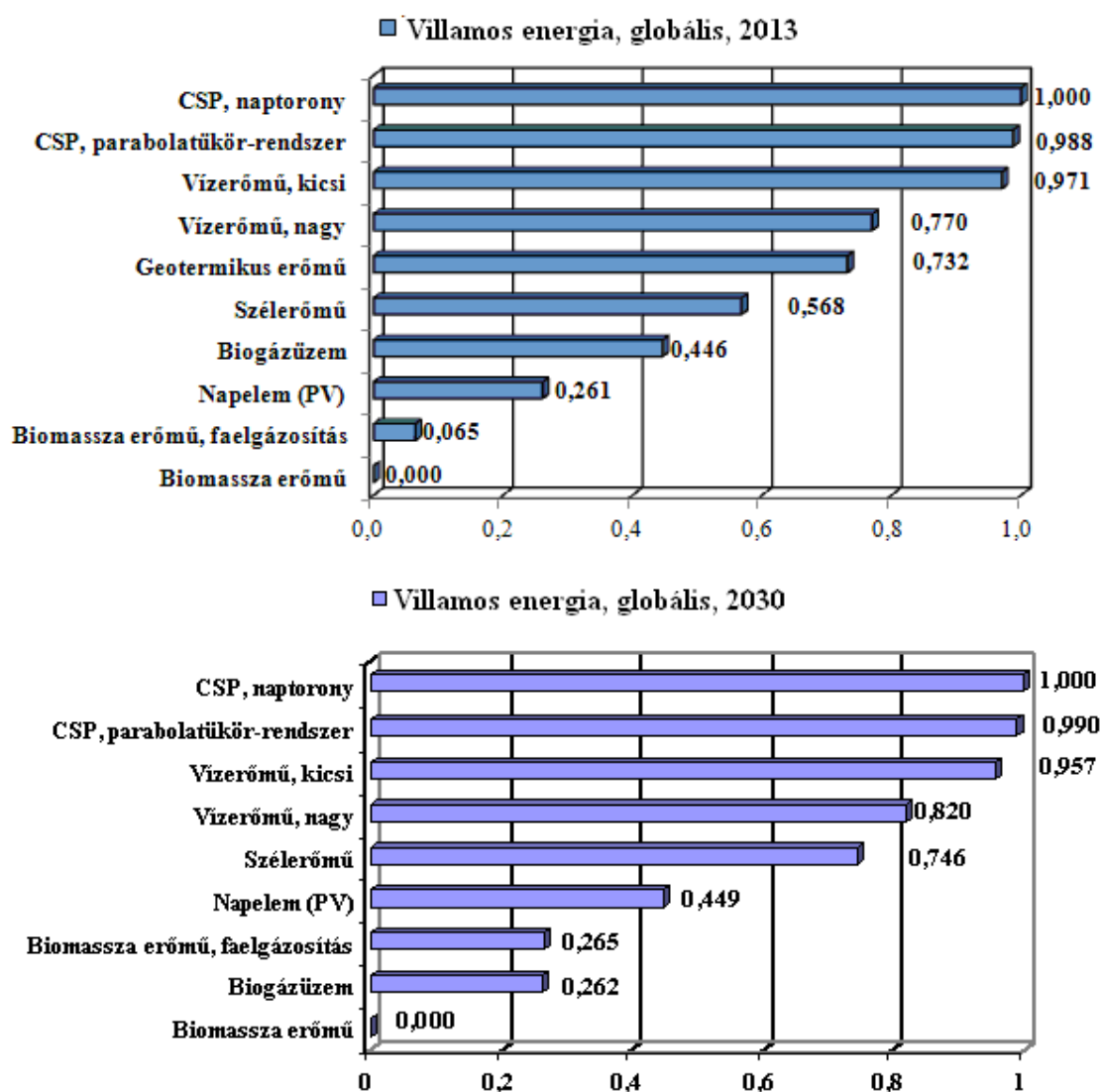
Technológia	Költségváltozás	Hatékonyság-növekedés
CSP, naptorony	-57,0	5,0
CSP, parabolatükör-rendszer	-57,0	5,0
Vízerőmű, kicsi	-20,4	2,0
Vízerőmű, nagy	-11,1	2,0
Szélérőmű	-27,0	30,0
Biogázüzem	-11,1	5,0
Napelem (PV)	-65,7	20,0
Biomassza erőmű, faelgázosítás	+5,5	30,0
Biomassza erőmű	+5,5	25,0

Forrás: UNEP, 2011; EDENHOFER et al., 2011

A vízenergia-hasznosítás hatásfoka már közel van az elméleti maximumhoz (96%), itt már csak kismértékű fejlődés prognosztizálható. A bioenergetikai eljárások hatékonyságnövelésének alapvetően három forrása azonosítható: a növényi hozamok növelése, az átalakítási technológia hatásfokának emelése és a logisztikai hatékonyság

javítása. Az PCC elemzése alapján az erdészeti hozamok és a hulladékok növelése 2030-ig mintegy 20-25%-kal járulhat hozzá az egységnyi terület által biztosítható alapanyag-mennyiséghez. A PV technológia adott modul típuson belül 5-6% hatásfoknövelésre képes az elméleti határig, modul típus-váltással azonban 20%-kal nagyobb hatásfok is elérhető.

18. ábra: A villamos energia technológiák a globális értékelésben a 2030-ban várható költségek és a hatékonyság alapján



Forrás: saját szerkesztés

A koncentrált napenergia-hasznosítás lehetőségeit a termodinamikai törvények korlátozzák, a hatásfokot itt a napenergiát összegyűjtő elemek hatékonyságának

növelésével lehet fokozni. Az egy földrajzi helyen előállított szélenergia mértékét a méretek növelésével nem célszerű fokozni, hiszen a költségek ennél intenzívebben emelkednek. Viszont a tornyok építészeti és a rotorlapátok anyagának fejlesztésével, továbbá a veszteségek csökkentésével összességében jelentős hatékonyságnövekedés érhető el (EDENHOFER et al., 2011).

A **18. ábra** a fenti várható változások hatására bekövetkezett változást mutatja be relatív rangsorban. Annak ellenére, hogy jelentős különbségek vannak a várható költségekben és a hatékonyság várható alakulásában, a technológiák relatív rangsora nem változott jelentősen. Ennek két oka van: egyrészt a költség-attribútum alacsony jelentőségű az értékelésben, másrészt a hatékonyság növelése csökkentette a technológiák fajlagos káros hatásait viszont ugyanolyan arányban növelte a pozitívokat. Közelebb kerülnénk a technológiák fenntarthatósági értékének várható alakulásához, ha minden attribútum tekintetében rendelkezésre állnának megbízható előrejelzések a mérvadó tanulmányokban.

Jelentősen javult a relatív fenntarthatósági érték a szélenergia, a PV és a faelgázosítás esetén. Az egyetlen változás a rangsorban az, hogy a PV „helyet cserélt” a biogázüzemmel. Ez a változás a fotovoltaiikus napenergiahasznosítás költségeinek jelentős csökkenése miatt van, mellyel ellentétes irányú a bioenergetikai eljárások várható költségnövekedése.

5.5. A fenntarthatósági rangsor alakulása a gazdasági-technikai környezet változásának hatására

Az érzékenységvizsgálat különösen fontos az eredmények értelmezhetőségének szempontjából. A bemeneti változók rugalmasság-elemzése során a leghatékonyabb beavatkozási lehetőségek tárhatók fel egy adott problémakörben.

Jelen fenntarthatósági értékelés érzékenységvizsgálatának eredményeit tartalmazza a **20. táblázat**. A negatív ε arra utal, hogy adott inputtényező változása és a fenntarthatósági érték között negatív kapcsolat fedezhető fel, tehát a súly, vagy a technológiai jellemző növekedésének hatására csökken az értéke. Pozitív kapcsolat esetén ennek az ellentéte áll fenn.

20. táblázat. A bemeneti adatok változásának hatása a fenntarthatósági értékre

	Súly-rugalmasság εW_i		Technológia-rugalmasság εA_j			
	Globális	Hazai	Villamos energia		Hőenergia	
			Globális	Hazai	Globális	Hazai
Légszennyezés	-0,0032	-0,0031	-0,0021	-0,0023	-0,0057	-0,0066
Területigény	-0,0119	-0,0128	-0,0038	-0,0037	-0,0059	-0,0088
Egyéb káros környezeti hatás	-0,0057	-0,0067	-0,0057	-0,0050	-0,0046	-0,0009
Költségnövekedés	-0,0040	-0,0068	-0,0053	-0,0081	-0,0080	-0,0126
Keletkező új munkahely	0,0104	0,0129	0,0051	0,0045	0,0042	0,0201
Helyi jövedelem	0,0144	0,0165	0,0084	0,0098	0,0127	0,0161

Forrás: saját szerkesztés

A rugalmassági együtthatók minden esetben megfelelnek a várakozásoknak előjelüket tekintve. A negatív [pozitív] hatású attribútumok a súlyuk növelése esetén és az attribútum-értékek növelése esetén is csökkentik [növelik] a fenntarthatósági értékek átlagát.

A súly-rugalmasság azt mutatja meg, hány százalékkal nő átlagosan a fenntarthatósági érték a súly egy százalékpontos változásának hatására. A többi attribútum súlya azonban csökken, ezt is figyelembe kell venni az eredmények értékelésekor.

A εW_i mértéke a kapcsolat erősségére utal, minél nagyobb, annál inkább változik a fenntarthatósági érték az adott súly változtatásának hatására. A legnagyobb hatással az eredményekre mindkét elemzési szinten a helyi jövedelem súlya van: súlyának 1 százalékpontos növelése a fenntarthatósági értékek súlyozott átlagának 1,44 százalékpontos növekedését vonja maga után a globális értékelésben, míg 1,65 százalékpontos növekedést jelent a hazai értékelésben.

Magas továbbá a területigény és a munkahelyteremtés együtthatója, ezek a magasabb súlyértékű attribútumok. Az alacsonyabb jelentőségű fenntarthatósági jellemzők közül az egyéb káros környezeti hatások súlyának változása hat leginkább az eredményekre, és legkevésbé a légszennyezés súlyának módosítására reagálnak a fenntarthatósági értékek.

A súly-rugalmasság vizsgálatánál azonban – véleményem szerint – fontosabb a technológia-rugalmasság elemzése. A technológia-rugalmassági együtthatók (εA_j) azt

mutatják meg, hogyan változik százalékos értékben a fenntarthatósági érték súlyozott átlaga egy attribútum értékének egy százalékos változásának hatására.

A technológia-rugalmassági együtthatók meglehetősen alacsonyak. A változás azonban – bármennyire is jelentéktelennek tűnik –alkalmas a technológiai-gazdasági környezet változásának modellezésére. Egy együttható annak az átlagos mértékét fejezi ki, hogyan változik egy technológia fenntarthatósági értéke, hogyha egy százalékkal változtatjuk költségeit, munkaintenzitását stb. Az adott technológiát azonban a 14-17 technológia kontextusában kell értelmeznünk, ráadásul egy technológiát összesen hat attribútum jellemez, melyek közül egyszerre csak egy értéke változott meg.

A hazai és a globális vizsgálat előjelei ebben az esetben megegyeznek. A legnagyobb jelentősége a helyi jövedelemnek van villamos energia-előállítás terén a globális és a hazai technológiai kínálatban egyaránt. Ennek 1%-os növekedésére a fenntarthatósági érték 0,84%; illetve 0,98%-kal nő. Jelentős továbbá a költség-attribútum szerepe (-0,53; -0,81%). Ebben az esetben is az ÜHG-kibocsátás változása okozza a legalacsonyabb változást a fenntarthatósági értékekben.

A hőenergetikai eljárások fenntarthatósági értékén szintén a helyi jövedelem és a költségek változása módosít jelentős mértékben a vizsgálat mindkét szintjén. Hazai szinten ezek mellett leginkább a munkahelyek száma illetve a területigény változtat az értékeken és a rangsoron.

Mindezek alapján elmondható tehát, hogy a megújuló forrású villamos és hőenergetikai technológiák fenntarthatósági értékét legintenzívebben a költségek csökkenése, illetve ezzel szemben a helyi jövedelem növelése emeli. Kíváncos tehát helyben maradó, regionális jövedelem arányának növekedése – az egyébként csökkenő – energia-átalakítási költségekben. A költségek csökkentése elsősorban K + F + I forrásokat, vezetési-szervezési fejlesztéseket és magas színvonalú beruházásokat követel meg, míg a helyi jövedelem arányának növelése a kis- és középvállalkozói szektor fejlesztését illetve adminisztratív vagy ösztönző jellegű szabályozást, például többletpontokkal való jutalmazás kíván, adott esetben már tervezett energetikai OP pályázatait esetén.

5.6. Optimális energiamix a fenntarthatósági értékelés és a hazai megújuló energia-potenciál alapján

A hazai fenntarthatósági technológia-értékelés és a disszertációban korábban bemutatott (1.2. alfejezet) potenciálbecslések alapján körvonalazható Magyarország megújuló energiaforrásokra alapozott optimális energiaekeverése. Ennek eredménye közvetlen szakpolitikai alkalmazásra kevésbé alkalmas, de a relatív fenntarthatósági rangsor ismeretében hozzájárulhat a lehetőségek megismeréséhez, lehatárolásához az aktuális gazdasági, műszaki feltételek között.

Az optimális megújuló energiaekeverék becslése során az egyes energiaforrásokra vonatkozó fenntartható potenciál (2. táblázat) átlagos értékére építettem. Az energiaekeverék becslésének alapadatait a 21. táblázatban összegeztem. A jelenlegi technológiai színvonalon a feltehetőleg fenntartható módon hasznosítható megújuló forrású primer energia a jelenlegi felhasználás kevesebb, mint egyharmada. Mindez ismételten rávilágít az energetikai szerkezetváltás mellett az energiafelhasználás racionalizálásának feltétlen szükségességére: a jelenlegi energiaigények nem válthatók ki a megújuló energiaforrások ma ismert technológiáival.

21. táblázat: A hazai megújuló energia keverék alapjául szolgáló potenciálbecslések; PJ/a

Biomassza	230,0
Geotermikus energia	30,0
Napenergia	22,0
Szélenergia	15,5
Vízenergia	2,3
Összesen	299,8

Forrás: 1.2. alfejezet; 2. táblázat

A potenciál technológiákkal való „feltöltése” során alapvető követelményként vettem figyelembe, hogy semmilyen technológia nem mellőzhető, annak érdekében, hogy egyik területen se torpanjon meg a technológiai fejlődés és innováció. Fontos megjegyezni, hogy egyes különösen fontos technológiákkal nem számoltam az energiaekeverék vázolásakor, pl. hőszivattyúk, mivel ezek nem képezték a fenntarthatósági értékelés részét.

A keverék összeállításakor további felhasználó oldali, infrastrukturális követelményeket, illetve korlátokat is figyelembe vettem, ezek a következők voltak:

- A végső villamos energia felhasználását évi 180 PJ energiamennyiségben becsültem, jelenleg ez 150-160 PJ évente, és növekedése várható.
- A távhőszolgáltatás általi végső hőenergia-felhasználást évente 42 PJ mennyiségben maximalizáltam, ami megegyezik a jelenlegi igényekkel. A trendek ellentétesek a távhőrendszerek térnyerésével, de a költségek csökkenésével némi növekedés elérhető (pl. falufűtés, geotermikus fűtési rendszerek). Az energiahatékonysági intézkedések azonban az energiaigények csökkenése felé hatnak, és a népesség növekedése, illetve a lakásállomány drasztikus emelkedése sem prognosztizálható.
- Az egyedi hőigény jelenleg évi kb. 280 PJ a végső felhasználás, és 350 PJ a primer felhasználás tekintetében. Az egyedi végső hőigényt a háztartási, közületi és vállalati szektorban 250 PJ-ban maximalizáltam, ami tartalmazza a központos ellátást is.

A fenti korlátokat, feltételezéseket figyelembe véve az elsődleges cél a fenntarthatósági szempontból előnyösebb technológiák keverékbe illesztése volt. A megújuló energiamix vázlatát a **22. táblázat**ban jelenítettem meg.

22. táblázat: Az optimális energiamix primer, ill. végső energiafelhasználása

Technológia	Primer energiafelhasználás, PJ/a	Végső energiafelhasználás, PJ/a
VILLAMOS ENERGIA		
Biogáz	156,0	78,0
Szélerőmű	15,5	3,1
Geotermikus erőmű	5,0	0,8
Napelem (PV)	5,0	0,8
Biomassza erőmű	2,0	0,7
Biomassza erőmű, faelgázosítás	2,0	1,1
Vízerőmű, nagy	2,0	1,7
Vízerőmű, kicsi	0,3	0,2
Összesen	187,8	86,4
HŐENERGIA		
Biomassza CHP	50,0	20,0
Geotermikus távfűtés	25,0	21,3
Biomassza központos hőellátás, pellet	18,0	14,4
Napkollektor	17,0	6,0
Biomassza távfűtés	1,0	0,8
Egyedi biomassza fűtés, apríték	1,0	0,8
Összesen	112,0	63,3
ÖSSZESEN	299,8	149,7

Forrás: saját számítások

A villamos energia előállítása céljából legelőnyösebb technológia a biogáz, ezért ezt a keverékben a rendelkezésre álló technikai kapacitás felső határáig szerepeltettem. Ez a felső határ évi 156 PJ mezőgazdasági, élelmiszeripari és kommunális hulladékok hasznosításával (MAROSVÖLGYI, 2004). A fennmaradó bioenergetikai potenciál többsége hőtermelés céljára hasznosul, mivel a biomasszára alapozott más villamos energetikai eljárások a relatív rangsor végére kerültek.

A fennmaradó biomasszából 50 PJ villamos és hőenergiát kapcsoltan termelő fűtőerőművekben hasznosul. Ez az energiamennyiség viszonylag alacsony, tekintve hogy a biomassza CHP technológia a második legelőnyösebb technológia a hőigények fedezésére. A rangsor élén elhelyezkedő távfűtési mód, a geotermikus távfűtés viszont az előnytelen villamos hasznosítás miatt magas hőteljesítménnyel szerepel a keverékben, ez csökkentette a biomassza CHP által fedezhető hőigény mértékét, mivel a távhőigények összesen 42 PJ értékben kerültek megállapításra.

Mivel a biomassza távfűtés és az egyedi biomassza-alapú fűtés a rangsor végén helyezkednek el, a fennmaradó biomassza-potenciál többsége szükségszerűen biomassza-alapú központos fűtéssel alakul hőenergiává (18 PJ). Ezek alapján a jövőben az ilyen fűtési forma támogatása indokolt lehet a teljes vertikum tekintetében, különösen a pelletáló üzemek létrehozásának és a jelenleg földgáz-alapú fűtési rendszerrel rendelkező társasházak, üzemek, önkormányzati és állami intézmények fűtési rendszer átalakítását célzó beruházások támogatásával.

Az évente újratermelődő biomassza primer energiaértékének kétharmada hasznosul biogázüzemekben, 22%-a kogenerációs biomassza fűtőerőművekben, 8%-a központos fűtési rendszerekben, és jóval kisebb arányban egyedi fűtési és egyszerű biomassza távfűtési rendszerekben, valamint villamos erőművekben.

A szél erőműveknek a mainál jóval nagyobb szerep juthat, bár ehhez feltehetően a vízerőműves teljes kihasználása szükséges lenne. Mivel a nagy vízerőművek a fenntarthatósági rangsor szerint előnyösebbek, mint a kisléptékű hasznosítás, és a magyarországi potenciál kb. 90%-a nagyobb folyókához kapcsolódik (Duna, Tisza, Dráva) (SZEREDI et al., 2010), a nagyobb vízerőművek által termelt energia mennyisége lenne jelentősebb ebben az energiakeverékben. Nagy vízerőművekkel – igen jó hatásfokon – 2 PJ értékű primerenergia, kis vízerőművekkel pedig 0,3 PJ primerenergia termelhető. A hazai technikai potenciált tekintve **(1.2. alfejezet)** a vízenergia hasznosítása ennél egy nagyságrenddel magasabb is lehetne, ehhez azonban elengedhetetlen volna az országos szintű szakmai, társadalmi és politikai konszenzus a kérdésben.

A szivattyús-tározós erőművek előnyeiről és a hazai beruházás szükségességének kérdéséről a technológiák bemutatásakor már írtam **(1.2. alfejezet)**, az optimális megújuló energiakeverékben ezt a technológiát nem tudom szerepeltetni, lévén, hogy adatok hiányában az értékelésbe sem tudtam bevonni.

A viszonylag magas napenergia-potenciál jelentős részét a hőhasznosítás oldalán vettem figyelembe, mivel ennek fenntarthatósági értéke magasabb, 0,655 a PV technológia 0,200 értékével szemben **(17. ábra)**.

A fent vázolt megújuló energiakeverék a végső villamos energiaigény 48%-t fedezi. A távfűtés energiaigénye teljes egészében fedezhető a fejezetben vázolt energiaigények teljesülése esetén. Az egyedileg megjelenő hőigényeknek azonban csak a 8%-a elégíthető ki. Mindez ismételten rámutat az energiaigény csökkentésének és az energiahatékonyság növelésének szükségességére, továbbá látható, hogy ilyen energiakeverék mellett az egyedi fűtési energiaigény esetén figyelhető meg a legnagyobb deficit, ezért az energiahatékonysági intézkedéseket célszerű e területen koncentrálni energiahatékonysági és egyéb korszerűsítést célzó fejlesztések támogatásával.

Az energiakeverékben az átlaghatásfok villamos energiaátalakítás esetén 46%; míg hőenergia termelés esetében 57%. A felvázolt energiakeverék hiányossága, hogy a fenntarthatósági értékelésbe nem bevont technológiákat nem tartalmazza, pl. szivattyú-tározós vízerőmű, hőszivattyú.

Az energiakeverék összeállításának feltételeit figyelembe véve a cél a lehető legmagasabb átlagos fenntarthatósági érték elérése volt. Ennek sikere az energiakeverékbe bevont technológiák primer energiatermelésének és fenntarthatósági értékeinek súlyozott átlagával ellenőrizhető. Az energiamix villamos energetikai részének átlagos fenntarthatósági értéke 0,906 (l. **17. ábra**). Ez az érték igen jónak mondható: a rangsorban második szélenergia-hasznosítás értéke 0,620.

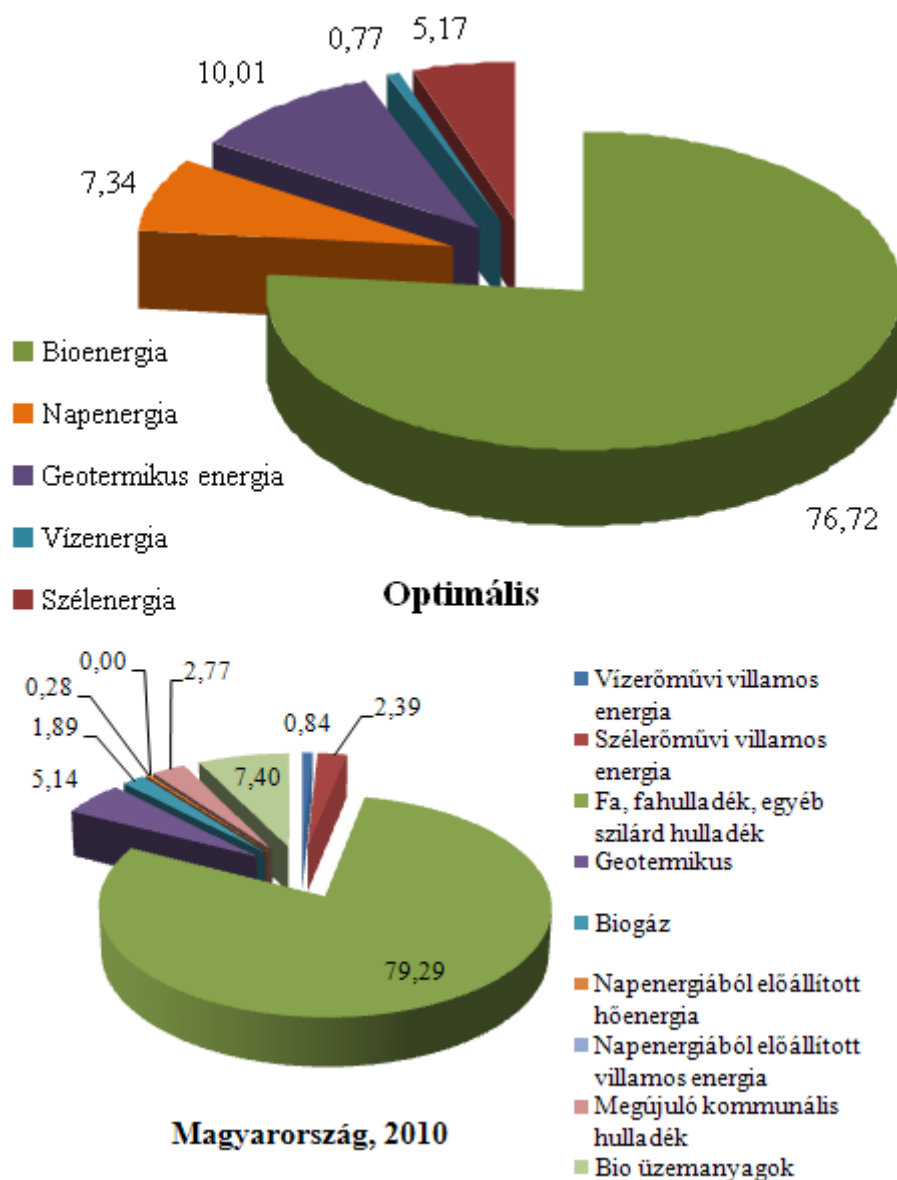
A hőtermelés tekintetében az átlagos érték 0,875, a rangsor-harmadik központos biomassza-fűtés magas aránya miatt az átlag a hátrányosabb technológiákhoz közelebbi értéket vett fel, mint villamos energia esetén. Ezen technológia sztenderdizált fenntarthatósági értéke 0,656. Mindezek alapján a hőtermelésre vonatkozóan is sikeresnek mondható az optimális energiamix összeállítása.

A **19. ábrán** a megújuló energiaforrások jelenlegi aránya és az optimális megújuló energiakeverék hasonlítható össze Magyarország tekintetében. A megújuló energia forrásait tekintve az optimális energiakeverék továbbra is biomassza-alapú. A 2010-ben megfigyelhető 81,2%-hoz¹⁶ képest kissé alacsonyabb a fenntarthatósági szempontból

¹⁶ Bioüzemanyagok nélkül.

optimális energiamix biomassza-aránya (76,7%), ami azonban továbbra is jelentősnek tekinthető. Az optimális keverék a jelenleginél sokkal magasabb arányban tartalmazza a Nap energiáját. A geotermikus és a szélenergia aránya körülbelül duplájára növekszik a keverékben, a vízenergia magasabb jelentősége azonban csak a politikai szándék érvényesülése esetén várható.

19. ábra: Az optimális megújuló energiakeverék primer forrásai; %



Forrás: saját számítások

A felvázolt optimális energiakeverék a technológiák fenntarthatósági értékelése szemszögéből tekinthető leginkább megfelelőnek. Természetesen nem optimális az

energiakeverék pusztán az átállítás költségeit, vagy légköri emisszióit figyelembe véve. Például a napenergia hasznosítása mind villamos, mind hőenergia céljával a legdrágább hasznosítási módok közé tartozik, mégis, a fenntarthatósági szempontból optimális energiamix 7,34%-át adja.

5.7. Példa a projektértékelés módszerére (Miskolc)

Az egyedi fenntarthatósági projektértékelés módszerének fejlesztése több célt is szolgálhat, mint ahogy ezt a témafelvetésben leírtam. Egyrészt a beruházások támogatásakor¹⁷ a pályázók rangsorolásához nyújthat segítséget, szempontot, másrészt közvetlenül a beruházó számára szolgáltathat fontos információkat még a döntéselőkészítés szakaszában. Ez utóbbi különösen akkor válhat hasznossá, ha egy komplex fenntarthatósági szempont kerülne beépítésre az állami és Európai Unió ösztönző rendszerbe.

Jelen alfejezetben a **4.7. alfejezetben** bemutatott értékelési módszertani keret alkalmazását szeretném egy létező példán keresztül bemutatni. Választásom azért esett a Miskolci Hőszolgáltató Kft. projektjeinek értékelésére, mert – az országban páratlanul – a két, összevethető méretű, megújuló energiaforrásokat hasznosító beruházás egy településen mutatható be, hasonló társadalmi, gazdasági és földrajzi viszonyok között. A következőkben tehát Miskolcon, egy már megvalósult biomassza fűtőmű beruházás és egy folyamatban lévő geotermikus távfűtő rendszer két lehetséges forgatókönyvének (összesen három opció) fenntarthatósági értékelését mutatom be¹⁸.

2011-ben adták át Miskolcon a Bioenergy-Miskolc Szolgáltató Kft. által 780 millió forintos beruházással, 45%-os KEOP támogatással felépített 3 MW kapacitású fűtőművet. A fűtőmű csak fűtési szezonban üzemel, tüzelőanyaga egyrészt évi 4000 tonna faapríték, melynek alapanyaga a közeli erdészetektől származó tölgy, cser és bükk tűzifa választékai, másrészt a városgazdálkodási tevékenység során keletkező fahulladék. A beruházásnak köszönhetően egy kisebb, 2,08 MW kapacitású gázüzemű

¹⁷ Állami szinten, OP-k esetén, kamattámogatás megítélésekor.

¹⁸ A bemutatott esettanulmány sajtóközleményeken, illetve Kókai Péter projektmenedzser személyes közlésein alapul, akinek köszönettel tartozom a hasznos információkért és segítőkészségéért. A MIHŐ Kft. jelen fenntarthatósági értékelést nem vette figyelembe, a fejezet célja kizárólag a 4.7. alfejezetben leírt módszer demonstrációja.

fűtőmű teljesen kiváltásra került, és egy nagyobb fűtőmű hőigényei is részben fedezhetők (Kenderföldi ltp., 12,23 MW).

A beruházó és a MIHŐ Kft. példásan kezelte a belterületi fűtőmű építésével kapcsolatos társadalmi feszültségeket: a kezdeti ellenállás a higgadt és megfontolt, nyílt kommunikációnak köszönhetően másfél év után megszűnt. A fűtőmű az érdeklődők számára ma is látogatható, továbbá a lakosság tapasztalhatja azt is, hogy a szállítási terhelés (faanyag) jelentéktelen – egy teherautó napi-kétnapi gyakoriságú fordulója ellátja a fűtőművet a megfelelő mennyiségű aprítékkal.

A városgazdálkodási fahulladékon felüli alapanyag szállítására tender útján pályázhatnak az erdészetek. A viszonylag alacsony mennyiség miatt általában a kisebb, közeli erdészetek vállalják a teljesítést.

A másik beruházás léptéke – tervezett kapacitását tekintve – több mint tízszerese a biomassza fűtőműnek. A Miskolci Geotermia Zrt., mely a Pannergy Geotermikus Erőművek Zrt. (90%) és a MIHŐ Kft. (10%) közös cége, 2010-ben kezdett a Miskolc alatt elhelyezkedő geotermikus rezervoár kiaknázásába. A kezdeti tervekben még 3 MW kapacitású villamos energiahasznosítás is szerepelt, ami magas hőmérsékletet feltételez. A projekt még nem zárult le, a beruházók összesen kb. 2 Mrd HUF EU támogatásra számítanak.

A rendszer két termelő és három visszasajtoló kút fúrásával fog megvalósulni. Az első mérések alapján a kitermelt víz hozama az első mályi kút esetében 6600-9000 l/perc (110-150 l/s) lehet 105 C°-on, míg a második mályi termelőkúton 8000 l/perc 90 C°-on. A három visszasajtoló kút Kistokaj területén került kialakításra. A kutak mélysége 2305-1058 m, a legmélyebb az egyik termelőkút Mályiban. A rendszer a következő fűtési szezonban kerül élesítésre.

A rendszer végleges és állandó hőkapacitásától függően további hasznosítási lehetőségek is felmerültek a visszatérő ágon: a Miskolci Agrokultúra Kft. a kistokaji visszasajtoló kutak felé áramló, még mindig 60 C°-os vizet hasznosítaná mezőgazdasági célokra (fóliasátor, üvegház), a Geowendung Zrt. pedig Mályi és Kistokaj településeken

alakítana ki falufűtést. Ezek a rendszer üzemeltetőjének bevételeit tovább növelnék, valamint a rendszer hatékonyságát is emelnék a hulladékhő hasznosítása által.

A rendszer által fedezhető hőigény azonban még bizonytalan — csakúgy, mint a hőszolgáltatás költségei is. Ezek csak akkor lesznek teljes mértékben ismertek, amikor a geotermikus rendszer állandó üzemében mérhetőek lesznek. Nagy a bizonytalanság a rezervoár hőtartalmát és a visszasajtolás földtani közegekre való hatását illetően.

A biomassza-tüzelésű fűtőmű és a geotermikus rendszer legjobb (J1), ill. legrosszabb teljesítményű és költségű verziójának (R2) műszaki és gazdasági adatait a **23. táblázatban** foglaltam össze.

23. táblázat: Miskolc megújuló energiaforrásokra alapozott távfűtési beruházásai

	Biomassza fűtőmű	Geotermikus rendszer (J1)	Geotermikus rendszer (R2)
Kapacitás, MW	3	50	30
Hőteljesítmény, TJ	45	800	400
Beruházás, Mrd HUF	0,780	6,0	7,0
Üzemeltetés, HUF/GJ	3.600	3.000	3.500
CO ₂ -kiváltás, t CO ₂ ekv.	50.077	166.500	83.250

Forrás: saját szerkesztés, sajtóanyagok alapján

A **23. táblázatban** megfigyelhetők az egyes beruházási változatok attribútum-értékei. Jelen esetben – a globális technológia-értékeléssel ellentétben – az emissziókkal kapcsolatos attribútum pozitív (CO₂-kiváltás). A biomassza fűtőműnek köszönhetően a húsz éves életciklus alatt összesen 50.077 t CO₂ ekv., a geotermikus projekt optimális (800.000 GJ hőteljesítmény) változatában pedig 30 év alatt 166,5 millió t CO₂ ekv. emisszió kerülhető el. A fajlagos kibocsátás a biomassza-fűtőmű esetén jóval magasabb.

A biomassza-tüzelésű fűtőmű területigénye magasabb, az évi 4000 tonna alapanyag-szükségletet 5000 m³-rel egyenértékűnek feltételezve az átlagos területigény a tüzelőanyag-előállítás oldalán 12 ha évente (MGSZH EI, 2009 alapján). Az ezen felüli területigény mindhárom esetben az épületek és a távvezetékek védősávjának alapterületéből adódik.

Az egyéb káros környezeti hatás attribútum értékét a **4.2.1. alfejezetben** bemutatott módszer segítségével, a jelen esetben felmerülő környezetterhelések figyelembevételével becsültem. A teljes előállítási költség (LCOE) kalkulációjakor 5%-os diszkontrátát, ill. a **17. táblázat** értékeit vettem figyelembe.

A bioenergetikai beruházás esetén a fűtőműben 4 álláshely keletkezett közvetlenül, továbbá 3 új munkahely alapozódott meg az инвестиciónak köszönhetően az alapanyag-beszállítónál és a MIHŐ Kft.-nél összességében. A geotermikus rendszer üzemeltetése 30 állandó alkalmazottat igényel majd, továbbá egy adminisztratív jellegű álláshely létrehozása várható.

Helyi jövedelem termelődése elsősorban a faanyagot biztosító erdőgazdálkodóknál várható, ez kb. 1.100 HUF/GJ. További 8 millió forintnyi munkabér, 2 millió forint karbantartási költség és 3 millió forint iparüzési adó felmerülése várható évente. A geotermikus rendszer üzembe helyezése után évi 6 millió HUF munkabérrel és a hőleadástól függően 3% árbevétel-arányos iparüzési adóval kalkuláltam, 24 millió HUF értékben a J1 verzió és 48 millió HUF értékben az R2 verzióban évente.

24. táblázat: A változatok attribútum-értékei

	Biomassza fűtőmű			Geotermikus rendszer (J1)		Geotermikus rendszer (R2)	
	Súly	Abszolút	Sztenderdizált	Abszolút	Sztenderdizált	Abszolút	Sztenderdizált
CO ₂ -kiváltás t CO ₂ ekv./GJ	0,01156	1,113	0	13,875	1	13,875	1
Területigény m ² /GJ	-0,03243	2,768	1	0,059	0	0,119	0,04
Egyéb káros környezeti hatás %*	-0,01178	25,10	1	22,61	0	22,61	0
Költségek LCOE, HUF/GJ	-0,01656	4.693	1	3.465	0	4.584	0,92
Keletkező új munkahely, fő/MW	0,02246	2,33	1	0,62	0	1,03	0,24
Helyi jövedelem, HUF/GJ	0,02835	1100,3	1	67,5	0	75,0	0,01
Összesen (súlyozva)		–	-0,00996	–	0,01156	–	0,00070
Sztenderdizálva			0,00		1,00		0,49

Ebben az esetben a „CO₂-kiváltás” pozitív attribútum, ezért a „légszennyezés” attribútum súlyát pozitívként vettem figyelembe.

Forrás: saját szerkesztés a MIHŐ Kft. közlése, ill. 4.2. alfejezet* alapján

A **24. táblázat** segítségével egyszerűen kiértékelhető a vázolt három változat fenntarthatósági értékelése. A geotermikus rendszerek környezeti hatásait és területigényüket tekintve egyértelműen jobbak a biomassza fűtőműnél, a társadalmi hatások tekintetében azonban hátrányosabbak. A geotermikus projekt sikere, tehát az, hogy végül hosszú távon mekkora hőigény kielégítésére alkalmas a rezervoár, elsősorban a fajlagos költségeket befolyásolja, továbbá hatással van a fajlagos munkahelyteremtésre, a helyi jövedelem alakulását azonban csak elhanyagolható mértékben befolyásolja.

A teljes értékelés elvégzése után a következő sorrend alakul ki a változatok között. A geotermikus projekt optimális megvalósulása esetén ennek „fenntarthatósági teljesítménye” kb. kétszeresen meghaladja a megvalósítás leggyengébb forgatókönyvét, ami viszont mindenképpen jobb fenntarthatósági szempontból (0,49), mint a biomassza fűtőmű. Az viszont fontos jellemzője a geotermikus projektnek, hogy a beruházás és az üzemeltetés magas állandó költség aránya miatt az egyébként fenntarthatósági szempontból jóval előnyösebb geotermikus távfűtési rendszer igen érzékeny a leadott hőmennyiség csökkenésére.

Amennyiben egy ilyen értékelést előzetesen végzünk korlátozottan rendelkezésre álló erőforrások mellett, megfontolandó a beruházásokban rejlő ilyen jellegű kockázat is. Az összehasonlítás célszerű lehet azonban akkor is, ha a lehetőségek paraméterei a fent bemutatottnál stabilabbak. A biomassza-fűtőmű esetében a terület-hatékonyság növelésére érdemes figyelemmel lenni, a geotermikus beruházás tervezésekor pedig egyértelműen a magasabb hőkapacitás közelíti a „gyengébb” verziót a J1-hez.

6. KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK

Kutatásom főbb megállapításait az előzetesen felállított hipotézisek alapján mutatom be. A legfőbb eredmények a szakértői felmérésből, a hazai és globális technológia-értékelésből, az érzékenységvizsgálatból és az optimális megújuló-alapú energiakeverék becsléséből származnak. A **H1** hipotézis körében leírt eredmények jelentősen befolyásolták a többi hipotézis megítélését, a szakértői preferenciákból nyert súlyok ugyanis nagymértékben determinálták a technológia-értékelés eredményét. A **H2** és **H3** hipotéziseket elvettem, a **H1** és **H4** hipotéziseket elfogadtam. A továbbiakban részletesen kitérek e döntések hátterére.

H1

A HAZAI SZAKÉRTŐK KÖRÉBEN A MEGÚJULÓ ENERGIAFORRÁSOK HASZNOSÍTÁSÁNAK KÖRNYEZETI ÉS TÁRSADALMI JELLEMZŐI ELSŐDLEGES JELENTŐSÉGŰEK.

A feltételezéseimnek megfelelően a megújuló energiaforrások hasznosításának ökológiai hatásai együttesen nagy jelentőségűek. Az üvegházgáz-emisszió és az egyéb káros környezeti hatások súlyai a szakértők döntéseiben inkább alacsonyak, de a hasznosítás területigényét jellemző attribútum jelentősége elsődleges (β koeficiens = -0,03243). Igaz, ennek az élelmiszer-gazdaságon keresztül közvetlen gazdasági és társadalmi hatásai is jelentősek, ezért ez a fenntarthatósági jellemző egyértelműen nem sorolható be egyik dimenzióba sem.

A kifejezetten társadalmi jellemzők jelentősége viszont egyértelmű: a helyi jövedelem attribútum (β koeficiens = 0,028354) és a munkahelyteremtésé súlya (0,02246) is magas. Ezek a második és harmadik legjelentősebb attribútumok a szakértői felmérés eredményei alapján. A költségek – mint egyértelműen gazdasági jellemző – közepes súllyal szerepeltek az értékelésben (β koeficiens = -0,01656). A legalacsonyabb jelentőségű fenntarthatósági jellemző az energiahatékonyság, amit azonban az értékelésbe az alacsony szignifikancia érték miatt nem építettem be.

A fenntarthatósági értékelésben a továbbiakban ezek az értékek szerepeltek az egyes fenntarthatósági jellemzők súlyaiként, amiből az következik, hogy a magasabban értékelt jellemzők alakították elsősorban a rangsort. **A hipotézist elfogadtam.**

H2

A TECHNOLÓGIÁK KÖZÜL A BIOMASSZA ENERGETIKAI HASZNOSÍTÁSÁNAK MÓDJAI A LEGELŐNYÖSEBBEK FENNTARTÓSÁGI SZEMPONTBÓL.

A területigény fenntarthatósági jellemző jelentősége igen magas a szakértői preferenciák alapján. Habár ez igaz a társadalmi jellemzőkre is, a biomassza energetikai felhasználása a magas területfoglalás miatt előnytelenebb opciónak bizonyult mind a globális, mind a hazai technológia-értékelésben. A globális értékelés villamos energia célú technológiai rangsorában a bioenergetikai eljárások csupán a 7., 9. és 10. helyre kerültek. Hőelőállítás esetén is megfigyelhető a jelenség, itt a 7 technológia közül a 3. ill. a 5-7. helyre kerültek a biomassza-alapú fűtési eljárások.

Hazai tekintetben kisség árnyaltabb a kép: A biogázüzemek a rangsor élére kerültek, mivel a foglalkoztatási hatásuk a szakirodalom alapján a legkedvezőbbnek bizonyult, további két villamos energetikai eljárás (biomassza erőmű és faelgázostás) azonban a rangsor végére, 7. és 8. helyre került. A legkedvezőbb a bioenergetikai technológiák helyzete a hazai hőellátás tekintetében, itt 2. és 3. helyen szerepel a biomassza CHP és a biomassza központos hőellátás. Igaz, itt összesen hat technológia összehasonlítására nyílt lehetőség, és a rangsor végén is szerepel két bioenergetikai fűtési mód. **A fentiek alapján jelen hipotézist elvetettem.**

A legjobb technológiák – globális vizsgálati szinten – a koncentrált napenergia-hasznosítás (CSP), a vízerőművek és a geotermikus erőművek a villamos energia, míg a geotermikus távfűtés két méretváltozata a hőellátás terén. A magyar viszonyok között a legkedvezőbb villamos energia-célú technológiák a biogáz-előállítás, a szél erőművek és a vízerőművek, míg hőenergia ellátás esetén a geotermikus távfűtés és a biomassza CHP. Érdeemes megjegyezni, hogy a villamos energia előállítás legelőnyösebb módjainak fejlesztésével a szakpolitika a biogázüzemeken kívül nem számol. A szél erőművi szektor további fejlődéséhez elengedhetetlen a villamos energia-rendszer szabályozhatóságának növelése, aminek egyik lehetséges eszköze – hazai erőforrásokra támaszkodva – a vízenergia arányának növelése. A vízerő-hasznosítás energiapolitikai prioritássá emelésével a szélenergia-szektor további fejlődése is biztosítható lenne.

A globális technológia-értékelés adatbázisa rámutatott, hogy az egyes megújuló energiaforrásokra alapozott technológiák esetében a teljes életciklusra vetített foglalkoztatási hatás jelentősen eltérő szakaszban jelenhet meg, például a bioenergetikai eljárások munkaerőigénye az alapanyaggal kapcsolatos munkafázisokban, míg a napenergia-technológiák esetén a berendezések gyártásának fázisában magas. A technológiák teljes vertikumának támogatása szükséges tehát; meg kell teremteni a beruházások hazai piacait. A geotermikus és napenergia esetében különösen fontos a berendezések hazai gyártásának támogatása is, ellenkező esetben a jelen disszertációban kimutatott fenntarthatósági „előnyök” egy része más makrogazdaságokban realizálódik.

H3 FENNTARTHATÓSÁGI SZEMPONTBÓL A KISLÉPTÉKŰ TECHNOLÓGIÁK ELŐNYÖSEBBEK.
--

Ilyen irányú egyértelmű összefüggés nem figyelhető meg a kutatás alapján, ezért disszertációm alapján nem tudok állást foglalni a decentralizált vagy a centralizált energiatermelés mellett.

Az eredmények mélyebb elemzésével kiderül, hogy a nagyléptékű és kisléptékű hasznosítás viszonyát alapvetően a fajlagos költségek és a fajlagos munkaerő-felhasználás határozzák meg. A vízerőművek esetében globális szinten ez jól látható, a kisléptékű hasznosítás előnyösebb; a geotermikus távfűtés esetén azonban a nagyobb rendszer költség-előnye olyan magas, hogy megelőzi fenntarthatósági szempontból a kisléptékű hasznosítást.

Az egyedi villamos energia (PV) és hőellátási technológiák a globális és hazai értékelésben egyaránt inkább a rangsor végén helyezkednek el, egyedül a pellet-tüzelés képez kivételt az értékelésben (3. pozíció mindkét értékelési szinten). **A hipotézist elvetettem.**

H4

MAGYARORSZÁG OPTIMÁLIS MEGÚJULÓ ENERGIAFORRÁSOKRA ALAPULÓ ENERGIAKEVERÉKÉBEN A BIOMASSZA KIEMELT SZEREPE T JÁTSSZIK.

Az általam elvégzett, a vizsgálat körébe bevont megújuló energiaforrásokat hasznosító technológiákra alapozott energiamix összesen 299,8 PJ primer és 149,7 PJ végső energiafelhasználás fedezésére elegendő. Látható tehát, hogy a fosszilis tüzelőanyagok kiváltása érdekében igen jelentősen csökkentenünk kell energiaigényünket, illetve a fosszilis energiahordozók közül is ki kell választani a legmegfelelőbb lehetőségeket, pl. földgáz és atomenergia-felhasználás az energiarendszer fenntarthatóbbá történő átalakítása során.

Az általam összeállított energiakeverék egy közelítő becslésnek tekinthető csupán, az viszont egyértelmű, hogy a hazai technológiai, energia-felhasználási és potenciálviszonyok között a bioenergetika elsődleges jelentősége továbbra is megmarad. A biomassa primerenergia-aránya ebben a keverékben becslésem szerint 76,72%, ami bár jelentősen elmarad a mai, közel 90%-os aránytól, még mindig jelentősnek tekinthető. A biomassa-hasznosítás elsősorban a napenergia és a geotermikus energia javára csökkenthető, ezek aránya az idealizált mixben 7,34% ill. 10,01%. **Ezt a hipotézist egyértelműen elfogadtam.**

Disszertációmban tehát minden előzetes hipotézis tekintetében sikerült megítélnem azok helyességét, helytelenségét. További fontos eredménynek tartom az **5.6. alfejezetben** ismertetett esettanulmányt is, mely bizonyítja, hogy a fenntarthatósági értékelés módszere egyedi esetekben, projektszinten is alkalmazható, fontos információkat szolgáltat a szereplők számára.

További vizsgálatokkal a kutatás köre szélesíthető, például újabb technológiák bevonásával. Tudományos és szakpolitikai szempontból igen nagy jelentősége lehet a kutatás szakaszosan megismételt elvégzésének. Mindez a gyakorlati felhasználási lehetőségek szempontjából különösen fontos. A gyakorlati felhasználás különböző időtávokon értelmezhető: az energetikai jellegű pályázatokat tartalmazó operatív programok kialakítása hétévente történik, az egyes hazai támogatási csatornák (METÁR, zöldhő-támogatás) felülvizsgálatára évente-kétévente kerülhetne sor.

7. AZ ÉRTEKEZÉS ÚJ, ILLETVE ÚJSZERŰ EREDMÉNYEI

Disszertációm témájául a megújuló energiaforrásokra alapozott technológiák fenntarthatósági értékelése szolgált. Legfőbb célom volt azok hozzájárulását mérni a fenntartható energiagazdálkodás eléréséhez, megközelítéséhez. Ennek érdekében elsődleges eredményként a technológiák relatív rangsorát állapítottam meg. A kutatás elvégzése során, illetve az eredmények feldolgozásának köszönhetően az alábbi megállapításokra jutottam. Ezek kutatásom új és újszerű eredményei.

- 1) A fenntarthatósági értékelés eddigi módszereinek elemző kritikai összehasonlításával feltártam a megfelelő módszer három alapvető követelményét: komplexitás, relatív rangsor képzése, és a súlyozás jelentősége. Ezek alapján létrehoztam egy a különböző eszközök előnyeire épülő saját eljárást, mely egy nem-kompenzatórikus többszempon্তু értékelés, feltételes választásra (CE) alapozott súlyozással.
- 2) A feltételes választás módszerét (CE) alkalmaztam az energiagazdálkodás egy igen komplex kérdéskörével, a megújuló energiaforrások hasznosításával kapcsolatos szakértői preferenciák feltárására. A módszert hazánkban ritkán alkalmazták hasonló kutatásokban.
- 3) A hazai szakértők körében végzett empirikus felmérésem alapján egy megújuló energiaforrást hasznosító technológia megítélésében annak területigénye és társadalmi hatásai (helyi jövedelemtermelő képessége és munkahely-teremtő képessége) a legfontosabbak. Ezek tekinthetők a hazai prioritásoknak a megújuló energiaforrások egymással való összehasonlítása terén.
- 4) A villamos energia előállítása terén a megújuló energiaforrásokra alapozott technológiák közül globálisan a koncentrált napenergia-hasznosítás, a vízerőművek és a geotermikus erőművek a legkedvezőbbek, hazai viszonylatban pedig a biogázüzemek, a szél erőművek és a vízerőművek – a helyi körülményeknek megfelelő hasznosítási módot alkalmazva.
- 5) Hőellátás szempontjából globálisan a geotermikus távfűtés és az egyedi pellet-tüzelés, hazai viszonylatban pedig szintén a geotermikus távfűtés és a biomassza CHP a legkedvezőbbek.

- 6) A jelenlegi koncepcióval ellentétben Magyarországnak fokozottan törekednie kell a szélenergia és a vízenergia hasznosítására, mivel e technológiák fenntarthatósági szempontból igen előnyösek.
- 7) Magyarország optimális megújuló energiakeveréke kétharmadát meghaladó mértékben biomassza-alapú a primer energiafelhasználást tekintve. A bioenergetika jelentősége tehát várhatóan megmarad hazánkban.
- 8) A fenntarthatósági értékelés kerete alkalmas makroszintű támogatási rendszerek megalapozására (pl. METÁR) a relatíve előnyösebb technológiák azonosítása által.
- 9) A disszertációban bemutatott esettanulmány révén igazoltam, hogy a fenntarthatósági értékelés általam kidolgozott módszere az egyedi projektértékelés terén is hasznosítható, akár a szereplők döntéseinek támogatására, akár a pályázatok elbírálásának szakaszában.

ÖSSZEFOGLALÁS

A megújuló energiaforrások hasznosítását célzó technológiák fenntarthatósági értékelésének lehetséges módszertani kerete került kialakításra és alkalmazásra a fent bemutatott disszertációban. A technológia-értékelés egyrészt tudományos szempontból, másrészt különböző fejlesztéspolitikai eszközök (támogatási rendszerek, ex-ante értékelés) bír kiemelkedő jelentőséggel. A fenntartható energiagazdálkodás egyik kulcsfontosságú elemének, az energetikai szerkezetváltás kivitelezésének hatékonyságát hivatott növelni a bemutatott kutatás.

Disszertációmban először bemutatattam a kutatás kontextusát, a világ, Európa és hazánk energiagazdálkodását. Ezek után lehatároltam a dolgozat témáját, definiáltam az alapvető fogalmakat és bemutatattam a vizsgálatba vont technológiák körét. A témafelvetés végén röviden bemutatattam az eredmények alkalmazásának lehetőségeit, jelentőségét.

A kutatási hipotézisek megállapítását követően bemutatattam a fenntarthatósági értékelés nemzetközi és hazai szakirodalmát általánosan illetve az energiagazdálkodás területén, aminek alapján megállapítottam az értékelés pontos elvégzésének alapvető követelményeit.

Ezek után a kutatás módszerét ismertettem: a fenntarthatósági jellemzők kialakításának bemutatását követően tértem rá a feltételes választás (CE) módszerének bemutatására. A témát érintő szakirodalmat is ebben a fejezetben mutattam be röviden. A szakértői felmérés kialakításának bemutatása után a technológia-értékelés keretét vázoltam fel annak érzékenységvizsgálatával együtt, majd végül a projektszintű fenntarthatósági értékelés alapjait ismertettem.

E fejezetet követően került sor az eredmények ismertetésére. Először a szakértői felmérés eredményeit és az abból levonható információkat írtam le, majd a globális és hazai rangsor bemutatása következett a villamos és hőenergia előállításának tekintetében.

A villamos energia előállítás terén a koncentrált napenergia-hasznosítás, a vízerőművek, a geotermikus erőművek, valamint hazai viszonyok között a biogázüzemek kerültek a relatív rangsor első felébe. Hőelőállítás esetén a geotermikus távfűtés, a kogenerációs biomassza távfűtés és a pelletfűtés tűntek előnyösebbnek. Az érzékenységvizsgálat során arra jutottam, hogy a társadalmi tényezők paramétereinek változása van leginkább hatással a technológiák fenntarthatósági értékére.

A következő alfejezetben becslést végeztem hazánk optimális megújuló energiakeverékének megállapítására, melynek eredménye szerint Magyarország esetében a potenciálokat és az energiafelhasználást figyelembe véve a biomassza energetikai felhasználásának 76,72%-os aránya optimális, jelentős geotermikus és napenergia-hasznosítás mellett. A vizsgálatokból az is kiderült, hogy a vízenergia jelenleginél nagyobb volumenű hasznosítása is kívánatos fenntarthatósági szempontból. Az utolsó alfejezetben a projektértékelés módszerét alkalmaztam miskolci beruházások vizsgálatára.

A következtetéseket ismertető fejezetben az alábbi, politikai szempontból jelentős új eredményekre jutottam. A fenntarthatósági jellemzők közül a területfoglalás és a társadalmi jellemzők a legfontosabbak. A vízenergia, geotermikus, a koncentrált napenergia-hasznosítás és a biogázelőállítás a legelőnyösebb technológiai csoportok. A vízenergia és szélenergia arányának növelése hazánk számára kiemelt jelentőségű lenne. A technológiák fenntarthatósági értéke leginkább a társadalmi jellemzők értékeinek javulása révén nőhet, ezért e tényezők fejlesztésére kell koncentrálni a különböző adminisztratív és ösztönző eszközöket.

Dolgozatomban bemutattam a fenntarthatósági értékelés szakpolitikai jelentőségét mind makroszinten, mind projektszinten. Úgy gondolom, hogy a módszertani keret más területeken is adaptálható annak érdekében, hogy a különböző fejlesztéspolitikai eszközök alkalmazása minél hatékonyabb lehessen.

SUMMARY

Social and economic processes need to be adjusted to the boundaries of the ecological systems towards long-run existence of human civilisation. It gives rise to concerns that regarding the ecological problems we have crossed or at least we have come close to that border where the space for the long-run survival of the human civilisation is doubtful. This is the sustainable development principle.

One of the most important ecological problem is the climate change which is mainly resulted by energetic processes. The current energetic system is unsustainable due to the increasing energy demand triggered by population expansion and economic growth, as well as short- and long-term uncertainty in connection with the availability of resources. Rationalisation of consumption, more efficient energy usage and a new energy structure are needed to be achieved in the same time. More intensive utilisation of renewable energy sources (RES) is an important aspect in order to shift the structure of energy system towards sustainability.

The aim of the study was to reveal the most beneficial RES utilisation technologies with special respect to sustainable energy system. Primary results of the study, i.e. the relative ranking of the technologies as well as the secondary results are potentially useful in several environmental and development policies. From strategic planning viewpoint the estimation of the optimal Hungarian renewable energy mix regarding sustainability is a significant conclusion as well hence an ideal state can be modelled.

Numerous technologies of power and heat generation were compared in a sustainability assessment frame built up by seven attributes. Preferences of experts regarding these were evaluated by choice experiment (CE) survey. This group of attributes represents the tree-dimension definition of the sustainability.

According to Hungarian experts, the most important characteristics of RES utilisation technologies are the land demand and social impacts, i.e. increase in employment and local income generation. Priorities are given for these attributes during comparison of several renewable energy based technologies.

Concentrated solar power (CSP), hydropower as well as geothermal power plants are favourable power generation technologies at global scale, while biogas plants, wind power plants and hydropower are advantageous if national conditions are considered. Globally, geothermal district heating and pellet-based non-grid heating are relatively advantageous in case of heat supply. At the domestic level of analysis, relative advantage of geothermal district heating and biomass CHP was revealed. In contrast with the present conception, more intensive utilisation of energy of wind and water resources is advised, since these technologies are favourable with regard to sustainability.

More than two-third of the optimal Hungarian energy mix is based on biomass considering the primary energy consumption. Importance of the bioenergy utilisation will remain at high level.

The sustainability assessment is able to help in the establishment of macro-scaled supporting systems due to identification of the relatively advantageous technologies. As it is proved by the case study in the dissertation, the introduced assessment frame is useful project assessment tool as well. It can be applied in the phase of decision making or even in project evaluation in supporting systems.

IRODALOMJEGYZÉK¹⁹

- 1) Alexander, A. M. – List, J. A. – Margolis, M. – d'Arge, R. C. (1998): A method for valuing global ecosystem services. *Ecological Economics*. Volume 27. Issue 2. pp. 161-170.
- 2) Allan, G. – McGregor, P. – Swales, K (2011): The importance of revenue sharing for the local economic impacts of a renewable energy project: a social accounting matrix approach. *Regional Studies*. Volume 45. Issue 9. pp. 1171-1186.
- 3) de Almeida, A. T. – Moura, P. S. – Marques, A. S. – de Almeida, J. L. (2005): Multi-impact evaluation of new medium and large hydropower plants in Portugal centre region. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Volume 9. Issue 2. pp. 149-167.
- 4) Arvizu, D. T. – Bruckner, H. – Chum, O. – Edenhofer, S. – Estefen, A. – Faaij, M. – Fishedick, G. – Hansen, G. – Hiriart, O. – Hohmeyer, K. G. T. – Hollands, J. – Huckerby, S. – Kadner, A. – Killingtveit, A. – Kumar, A. – Lewis, O. – Lucon, P. – Matschoss, L. – Maurice, M. – Mirza, C. – Mitchell, W. – Moomaw, J. – Moreira, L. J. – Nilsson, J. – Nyboer, R. – Pichs-Madruga, J. – Sathaye, J. – Sawin, R. – Schaeffer, T. – Schei, S. – Schlömer, K. – Seyboth, R. – Sims, G. – Sinden, Y. – Sokona, C. – von Stechow, J. – Steckel, A. – Verbruggen, R. – Wiser, F. – Yamba, T. – Zwickel, (2011): Technical Summary. pp. 27-161. In: IPCC. Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation (szerk. Edenhofer, O. – Pichs-Madruga, R. – Sokona, Y. – Seyboth, K. – Matschoss, P. – Kadner, S. – Zwickel, T. – Eickemeier, P. – Hansen, G. – Schlömer, S. – von Stechow, C.), Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1088 p.*
- 5) Aszódi A. (2009): Magyarország energiaellátásának általános helyzete és jövője. MTA-MMK, előadás.
http://www.reak.bme.hu/fileadmin/user_upload/felhasznalok/aszodi/letoltes_eloadasok/Aszodi_MMK_20090514.pdf, letöltés ideje: 2012. 10. 16.
- 6) Bachmann, T. M. (2013). Towards life cycle sustainability assessment: drawing on the NEEDS project's total cost and multi-criteria decision analysis ranking methods. *International Journal of Life Cycle Assessment*. Volume 18. pp. 1698-1709.
- 7) Bai A. (2013): A bioetanol és a második generációs biohajtóanyagok. Debreceni Egyetem, Debrecen, 142 p.
- 8) Bai A. – Bagi Z. – Bartha I. – Fenyvesi L. – Hódi J. – Kovács K. – Mátyás L. – Mogyorósi P. – Petis M. (2007): A biogáz. Száz magyar falu könyvesháza Kht., Budapest, 284 p. ISBN: 978-9637-02430-6
- 9) Bai A. – Lakner Z. – Marosvölgyi B. – Nábrádi A. (2002): A biomassza felhasználása. Budapest. Szaktudás Kiadó Ház, 226 p. ISBN: 963-9422-46-0
- 10) Baji, P. (2012): A diszkrét választás módszere. *Statisztikai Szemle*. 90. évf. 10. sz. pp. 943-963.

¹⁹ * A technológia-értékelésben is felhasznált irodalmakat a forrás végén *-gal jelöltem. A kizárólag a technológia-értékelésben felhasznált munkákat az irodalomjegyzék után külön tüntettem fel.

- 11) Bakács I. – Zettner T. (2009): Az Energiagazdálkodási Tudományos Egyesület állásfoglalása a Magyar villamosenergia-rendszer szabályozhatóságának problémáiról. Energiagazdálkodás. 50. évf. 1-2. sz. pp. 11-12.
- 12) Báldi A. (2011): Pénzt vagy életet? Magyar Tudomány. 172. évf. 7. sz. pp. 774-779.
- 13) Baranyi B. (2010): Bioenergetika – társadalom – harmonikus vidékfejlődés. MTA RKK – DE AMTC. Debrecen, 339 p. ISBN: 978-963-9899-27-8
- 14) Barta J. – Bíró P. (szerk.) – Hegedűs M. – Kapros Z. – Unk Jné (2011): A megújuló energia hasznosítási cselekvési terv hatásai a hazai villamos energia piacra. Energiapolitikai Füzetek. 24. sz. GKI Energiakutató és Tanácsadó Kft. 45 p.
- 15) Bebbington, J. – Brown, J. – Frame, B. (2007). Accounting technologies and sustainability assessment. Ecological Economics. Volume 61. Issue 2. pp. 224-234.
- 16) Bela Gy. – Pataki Gy. – Valené Kelemen Á. (2003): Társadalmi részvétel a környezetpolitikai döntéshozatalban. A Budapesti Közgazdaságtudományi és Államigazgatási Egyetem Környezettudományi Intézetének tanulmányai, 20. szám, 1-94.
- 17) Bennett, J. – Blamey, R. (Eds.). (2001): The Choice Modelling Approach to Environmental Valuation. Edward Elgar. Cheltenham, 287 p.
- 18) Bergmann, A. – Hanley, N. – Wright, R. (2006): Valuing the attributes of renewable energy investments. Energy Policy. Volume 34. Issue 9. pp. 1004-1014.
- 19) Bíró K. – Hunyár M. – Szépszó G. – Tar K. – Tóth P. – Veszprémi K. (2006): A szélenergia hasznosítása. Verlag Dashöfer Szakkiadó, Budapest, 71 p.
- 20) Bobok E. – Tóth A. (2010): A geotermikus energia helyzete és perspektívái. Magyar Tudomány. 171. évf. 8. sz. pp. 926-936.
- 21) Bond, A. J. – Morrison-Sounders, A. (2011): Re-evaluating sustainability assessment: Aligning the vision and the practice. Environmental Impact Assessment Reviews. Volume 31. Issue 1. pp. 1-7.
- 22) Borchers, A. M. – Duke, J. M. – Parsons, G. R. (2007): Does willingness to pay for green electricity differ by source? Energy Policy. Volume 35. Issue 6. pp. 3327-3334.
- 23) Bozóki S. (2006): Súlyozás páros összehasonlással és értékelés hasznossági függvényekkel a többszemponútú döntési folyamatokban. Budapesti Corvinus Egyetem. Budapest, 158 p.
- 24) Brandtmüller Á. (2009): Diszkrét választási kísérlet magyar háziorvosok körében. Statisztikai Szemle. 87. évf. 12. sz. pp. 1154-1176.
- 25) Büki G. – Lovas R. (szerk.) (2010): Megújuló energiaforrások hasznosítása. Köztisztviselői Stratégiai Programok. Magyar Tudományos Akadémia, Budapest, 143 p. ISBN 978-963-508-599-6
- 26) Burton, J. – Hubacek, K. (2007): Is small beautiful? A multicriteria assessment of small-scale energy application technologies in local government. Energy Policy. Volume 35. Issue 12. pp. 6402-6412.
- 27) Buytaert, V. – Muys, B. – Devrient, N. – Pelkmans, L. – Kretschmar, J. G. – Samson, R. (2011). Towards integrated sustainability assessment for energetic use

- of biomass: A state of the art of evaluation tools. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Volume 15. Issue 8. pp. 3918-3933.
- 28) Chatzimouratidis, A. I. – Pilavachi, P. A. (2009): Technological, economic and sustainability evaluation of power plants using the Analytic Hierarchy Process. *Energy Policy*. Volume 37. Issue 3. pp. 778-787.
 - 29) Chen, Z. – Zhang, X. (2000): Value of ecosystem services in China. *Chinese Science Bulletin*. Volume 45. Issue 10. pp. 870-877.
 - 30) Cherubini, F. – Srtomann, A. H. (2011): Life cycle assessment of bioenergy systems: State of the art and future challenges. *Bioresource Technology*. Volume 102. Issue 2. pp. 437-451.
 - 31) Costanza, R. (2003): Social goals and the valuation of natural capital. *Environmental Monitoring and Assessment*. Volume 86. Issue 1. pp. 19-28.
 - 32) Costanza, R. – d'Arge, R. – de Groot, R. – Farber, S. – Grasso, M. – Hannon, B. – Limburg, K. – Naeem, S. – O'Neill, R. V. – Paruelo, J. – Raskin, R. G. – Sutton, P. – van der Belt, M (1997): The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*. Volume 387. Issue 5. pp. 253-260.
 - 33) Costanza, R. – d'Arge, R. – de Groot, R. – Farber, S. – Grasso, M. – Hannon, B. – Limburg, K. – Naeem, S. – O'Neill, R. V. – Paruelo, J. – Raskin, R. G. – Sutton, P. – van der Belt, M (1998): The value of ecosystem services: putting the issues in perspective. *Ecological Economics*. Volume 27. Issue 1. pp. 67-72.
 - 34) san Cristóbal, J. R. (2011): A multi criteria data envelopment analysis model to evaluate the efficiency of the Renewable Energy technologies. *Renewable Energy*. Volume 36. Issue 10. pp. 2742-2746.
 - 35) Crucible Carbon (2008): Biomass technology review: processing for material and energy. Sustainability Victoria. 44 p. http://www.sustainability.vic.gov.au/resources/documents/Biomass_Technology_Review.pdf, letöltés ideje: 2009. 12. 21.
 - 36) Csom Gy. – Gács I. – Gerse K. – Giber J. – Grábner P. – Hegedűs M. – Imre T. – Láng I. – Lengyel Gy. – Ligeti P. – Magyarai D. – Miklós L. – Molnár L. (2006): Magyarország energiapolitikai tézisei (2006-2030). *A Magyar Villamos Művek Közleményei*. 43. évf. pp. 1-68.
 - 37) Czira T. (2003): A területfejlesztési tervezést támogató területi környezeti értékelés elméleti kérdései és módszertana Magyarországon. ELTE TTK, Budapest (Doktori disszertáció)
 - 38) Czira T. – Farkas I. – Hortobágyi A. – Máyer Z. – Pálvölgyi T. – Péti M. – Szabó É. – Szenci K. – Vajna T. (2006): Új Magyarország Vidékfejlesztési Stratégiai Program és Terv Stratégiai környezeti vizsgálata. Budapest, <http://www.mtvsh.hu/dynamic/vidékfejlSKV34TarsEgyezt.pdf>, letöltés ideje: 2010. 11. 21.
 - 39) Czúcz B. – Kröel-Dulay Gy. – Török K. (2011): Az ökoszisztéma-szolgáltatások szerepe és lehetőségei az éghajlatváltozás elleni küzdelemben. *Magyar Tudomány*, 172. évf. 7. sz. pp. 795-801.
 - 40) van Dam, J – Faaij, A. P. C. – Lewandowski, I. – Fisher, G. (2007): Biomass production potentials in Central and Eastern Europe under different scenarios. *Biomass and Bioenergy*. 31. Issue 6. pp. 345-366.

- 41) Daim, T. – Yates, D. – Peng, Y. – Jimenez, B. (2009): Technology assessment for clean energy technologies: The case of Pacific North-West. Technology in Society. Volume 31. Issue 1. pp.
- 42) Deutsch N. (2011): A technológiai rendszerek innovációja – Az elosztott villamosenergia-termelési technológiák fenntarthatósági értékelése és rendszerinnovációs potenciáljának vizsgálata az Európai Unióban. PhD értekezés. Pécsi Tudományegyetem. 336 p.
- 43) Dias, L. C. – Domingues, A. R. (2014): On multi-criteria sustainability assessment: Spider-gram surface and dependence biases. Applied Energy. Volume 113. pp. 159-163.
- 44) Dinya L. (2010): Biomassza-alapú energiatermelés és fenntartható energiagazdálkodás. Magyar Tudomány. 171. évf. 8. sz. pp. 912-925.
- 45) Dombi M. – Balázs Á. (2010): Magyarország maximális agro-erdészeti energia-potenciáljának számítása az agroökológiai lehetőségek figyelembevételével. Gazdálkodástudományi Közlemények. 2. évf. 2. sz. pp. 7-17.
- 46) EB (2010).: Európa 2020. Európai Bizottság. Brüsszel. 38 p. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2010:2020:FIN:HU:PDF>, letöltés ideje: 2010. 07. 21.
- 47) EB (2007a): Európai energiapolitika. Az Európai Községek Bizottsága. Brüsszel. 32 p. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2007:0001:FIN:HU:PDF>, letöltés ideje: 2010. 07. 21.
- 48) EB (2013): Guidance for state interventions in electricity. IP/13/1021. Brüsszel, 2013. 11. 05. http://europa.eu/rapid/press-release_IP-13-1021_en.htm, letöltés ideje: 2013. 11. 06.
- 49) EB (2007b): Megújulóenergia útiter. Az Európai Községek Bizottsága. Brüsszel. 24 p. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2006:0848:FIN:HU:PDF>, letöltés ideje: 2010. 07. 21.
- 50) Edenhofer, O. – Pichs-Madruga, R. – Sokona, Y – Seyboth, K. – Matschoss, P. – Kadner, S. – Zwickel, T. – Eickemeier, P. – Hansen, G. – Schlömer, S. – von Stechow, C. (Szerk.) (2011) IPCC. Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1088 p.
- 51) EEA (2006): How much bioenergy can Europe produce without harming the environment. EEA Report No. 7. European Environmental Agency. Copenhagen. 72 p.
- 52) Elghali, L. – Clift, R. – Sinclair, P. – Panoutsou, C. – Bauen, A. (2007): Developing a sustainability framework for the assessment of bioenergy systems. Energy Policy. Volume 35. Issue 12. pp. 6075-6083.
- 53) Evans, A. – Strezov, V. – Evans, T. J. (2009): Assessment of sustainability indicators for renewable energy technologies. Renewable and Sustainable Energy Reviews. Volume 13. Issue 5. pp. 1082-1088.*

- 54) Eurostat (2013a): Energy intensity of the economy – annual data. http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=nrg_ind_332a&lang=en, letöltés ideje: 2013. 01.02.
- 55) Eurostat (2012): Energy, transport and environmental indicators. Eurostat Pocketbooks. European Union, Luxembourg, 240 p., ISBN: 978-92-79-26596-9
- 56) Eurostat (2013b): Gross inland energy consumption – by fuel. <http://epp.eurostat.ec.europa.eu/tgm/table.do?tab=table&init=1&language=en&pcode=tsdcc320&plugin=1>, letöltés ideje: 2013. 01. 02.
- 57) Farkas I. (2010): A napenergia hasznosításának hazai lehetőségei. Magyar Tudomány. 171. évf. 8. sz. pp. 937-946.
- 58) Frame, B. – O'Connor, M. (2011): Integration valuation and deliberation: the purposes of sustainability assessment. Environmental Science and Policy. Volume 14. Issue 1. pp. 1-10.
- 59) Frangopoulos, C. A. (2011): A contribution to the multi-criteria evaluation of energy systems with sustainability considerations. 2nd international exergy, life cycle assessment and sustainability workshop and symposium, Nisyros, Görögország.
- 60) Gács I. (2010). A szélenergia-termelés támogatása. Elektrotechnika. 102. évf. 1. sz. pp. 5-7.
- 61) Gracia, A. – Barreiro-Hurlé, J. – Pérez, L. P. (2012): Can renewable energy financed by higher electricity prices? Evidences from a Spanish region. Energy Policy. Volume 50. pp. 784-794.
- 62) Gasparatos, A. – Scolobig, A. (2012): Choosing the most appropriate sustainable assessment tool. Ecological Economics. Volume 80. Issue 1. pp. 1-7.
- 63) Gáthy A. – Karcagi A. – Kuti I. (2006a): Az alternatív energiaforrásokra vonatkozó célkitűzések és jelzőszámok az EU tagországok nemzeti fenntartható fejlődési stratégiáiban. pp. 1-9. In: Andrassy A. (Szerk.) (2006): Az alternatív energiaforrások hasznosításának gazdasági kérdései. NyME KTK. Sopron. ISBN: 978-963-9364-82-0
- 64) Gáthy A. – Kuti I. – Szabó G. (2006b): Fenntartható fejlődési politikák és stratégiák az Európai Unióban. pp. 165-195. In: Bulla M. – Tamás P. (szerk.) (2006): Fenntartható fejlődés Magyarországon. Új Mandátum Könyvkiadó. Budapest, 511 p. ISBN: 963 9609 38 2
- 65) Gáthy A. (2007): A nemzeti fenntartható fejlődési stratégiák elemzése, különös tekintettel az agrárgazdasági és vidékfejlesztési vonatkozásokra. PhD értekezés. Debreceni Egyetem. 157 p.
- 66) Gerse K. (2007): Miért kell tározós erőmű? A Magyar Villamos Művek Közleményei. 44. évf. 1-2 sz. pp. 10-20.
- 67) Gémesi Zs. – Molnár A. – Popp J. (2009): Az agrárszféra energiapolitikai összefüggései, igények és lehetséges források (2030-ig). Bioenergia prognózis 2015., 2020. és 2030. évre: hő, villamos energia és bioüzemanyag forgatókönyvek. Kézirat. Budapest, 79 p.

- 68) Giampietro, M. – Mayumi, K. – Munda, G. (2006): Integrated assessment and energy analysis: Quality assurance in multi-criteria analysis of sustainability. *Energy*. Volume 31. Issue 1. pp. 59-86.
- 69) Giber J. (2005): *Megújuló energiák szerepe az energiaellátásban*. B+V Kiadó, Budapest, 158 p. ISBN: 963-7746-69-2
- 70) Ghafghazi, S. – Sowlati, T. – Sokhansanj, S. – Melin, S. (2010): A multicriteria approach to evaluate district heat options. *Applied Energy*. Volume 87. Issue 4. pp. 1134-1140.
- 71) GKM (2007): Magyarország megújuló energiaforrás növelésének stratégiája 2008-2020. Gazdasági és Közlekedési Minisztérium, Budapest, 82 p. www.nkek.hu/ext/download.php?id=145, letöltés ideje: 2008. 04. 21.
- 72) de Groot, R. – Wilson, M. A. – Boumans, R. M. J. (2002): A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecological Economics*. Volume 31. Issue 3. pp. 393-408.
- 73) Grunwald, A. – Rösch, C (2011): Sustainability assessment of energy technologies: towards an integrative framework. *Energy, Sustainability and Society*. Volume 1. Issue 3. pp. 1-10.
- 74) Haas, R. – Panzer, C. – Resch, G. – Ragwitz, M. – Reece, G. – Held, A. (2011): A historical review of promotion strategies for electricity from renewable energy sources in EU countries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Volume 15. Issue 2. pp. 1003-1034.
- 75) Hein, L. – van Koppen, K. – de Groot, R. S. – van Ireland, E. C. (2006): Spatial scales, stakeholders and the valuation of ecosystem services. *Ecological Economics*. Volume 34. Issue 2. pp. 209-228.
- 76) Hensher, D.A., Rose, J.M., Green, W.H., (2005): *Applied Choice Analysis: A Primer*. Cambridge University Press, Cambridge, 716 p. ISBN: 978-0-521-60577-9
- 77) IEA (2012): Key world energy statistics 2012. International Energy Agency <http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/kwes.pdf>, letöltés ideje: 2013. 01. 29.
- 78) de Jager, D. – Klessmann, C. – Stricker, E. – Winkel, T. – de Wisser, E. – Koper, M. – ragwitz, M. – Held, A. – Resch, G. – Busch, S. – Panzer, C. – Gazzo, A. – Roulleau, T. – Gousseland, P. – Henriët, M. – Bouillé, A. (2011): *Financing Renewable Energy in the European Energy Market*. Ecofys, 264 p. *
- 79) Josimovic, B. – Pucar, M. (2010): The strategic environmental impact assessment of electric wind energy plants: Case study 'Bavanište' (Serbia). *Renewable Energy*. Volume 35. Issue 7. pp. 1509-1519.
- 80) Kaenzig, J. – Heinzle, S. L. – Wüstenhagen, R. (2013): Whatever the consumer wants, the consumer gets? Exploring the gap between consumer preferences and default electricity products in Germany. *Energy Policy*. Volume 35. Issue 1. pp. 311-322.
- 81) Karcagi-Kováts A. (2011): *Mivel mérjük a fenntarthatóságot? Az indikátorkészletek helyzetértékelése az EU tagállamok nemzeti fenntartható fejlődési stratégiáiban*. PhD értekezés. Debreceni Egyetem. 224 p.

- 82) Kelemen E. – Málovics Gy. – Margóczy K. (2009): Ökoszisztéma-szolgáltatások során feltárt környezeti konfliktusok az Alpári-öblözetben. Természetvédelmi Közlemények. 15. köt. pp. 119-133.
- 83) Kerekes S. (2006): A fenntarthatóság közgazdasági értelmezése. pp. 196-211. In: Bulla M. – Tamás P. (szerk.) (2006): Fenntarthaó fejlődés Magyarországon. Új Mandátum Könyvkiadó. Budapest, 511 p. ISBN: 963 9609 38 2
- 84) Kerényi A. Ö. (2009): Energiatárolók telepítési elve a villamosenergia-rendszerben. Elektrotechnika. 102. évf. 1. sz. 12-13. p.
- 85) Klevas, D. – Streimikiene, D. – Kleviene, A. (2009): Sustainability assessment of the energy projects implementation in regional scale. Renewable and Sustainable Energy Reviews. Volume 13. Issue 1. pp. 155-166.
- 86) Kohlheb N. – Pataki Gy. – Porteleki A. – Szabó B. (2010): A megújuló energiaforrások foglalkoztatási hatásának meghatározása magyarországon. ESSRG, Budapest, 59 p.
- 87) Komarek, T. M. – Lupi, F. – Kaplowitz, M. D. (2011): Valuing energy policy attributes for environmental management: Choice experiment evidence from a research institution. Energy Policy. Volume 39. Issue 9. pp. 5105-5115.
- 88) Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium (KvVM) (2008). Nemzeti Éghajlatváltozási Stratégia. www.kvvm.hu/cimg/documents/nes080214.pdf, letöltés ideje: 2010. 05. 24.
- 89) Kovács E. – Pataki Gy. – Kelemen E. – Kalóczkai Á. (2011): Az ökoszisztéma-szolgáltatások fogalma a társadalomkutató szemszögéből. Magyar Tudomány. 172. évf. 7. sz. pp. 780-787.
- 90) Központis Statisztikai Hivatal (KSH) (2013): Magyarország energiamérlege. http://www.ksh.hu/docs/hun/xstadat/xstadat_eves/i_ui009.html; http://www.ksh.hu/docs/hun/xstadat/xstadat_eves/i_qe001.html, letöltés ideje: 2013. 01. 02.
- 91) Krajnyik, Zs. (2008): Környezeti javak pénzbeli értékelése Magyarországon és Szlovákiában a feltételes választás módszerének alkalmazásával. PhD értekezés. Budapesti Corvinus Egyetem. 169 p.
- 92) Kristmannsdóttir, H. – Ármannsson, H. (2003): Environmental aspects of geothermal utilization. Geothermics. Volume 32. Issues 4-6. pp. 451-461.
- 93) Ku, S. – Yoo, S. (2010): Willingness to pay for renewable energy investment in Korea: A choice experiment study. Renewable and Sustainable Energy Reviews. Volume 14. Issue 8. pp. 2196-2201.
- 94) Láng I. – Kerekes S. (2013): Megalakult a Túlélés Szellemi Kör. Magyar Tudomány. 173. évf. 1. sz. pp. 103-112.
- 95) Lányi A. (2007): A fenntartható társadalom. L'Harmattan, Budapest, 56 p. ISBN: 978-963-9683-91-4
- 96) Lei, K. – Wang, Z. (2003): The value of the ecosystem services and method. Journal of Geographical Sciences. Volume 13. Issue 3. pp. 339-347.
- 97) Loken, E. (2007): Use of multicriteria decision analysis methods for energy planning problems. Renewable and Sustainable Energy Reviews. Volume 11. Issue 7. pp. 1584-1595.

- 98) Longo, A. – Markandya, A. – Petrucci, M. (2008): The internalization of externalities in the production of electricity: Willingness to pay for the attributes of a policy for renewable energy. *Ecological Economics*. Volume 67. Issue 1. pp. 140-152.
- 99) Lukács, G. S. (2009): *Megújuló energia és vidékfejlesztés*. Szaktudás Kiadó Ház, Budapest, 265 p. ISBN: 978-963-9935-00-6
- 100) Louviere, J. J. – Hensher, D. A. – Swait, J. D., (2000): *Stated choice methods: Analysis and applications*, Cambridge University Press, Cambridge
- 101) Madlener, R. – Stagl, S. (2005): Sustainability-guided promotion of renewable electricity generation. *Ecological Economics*. Volume 53. Issue 2. pp. 147-167.
- 102) Mádlné Szőnyi J. (2008): A geotermikus energiahasznosítás nemzetközi és hazai helyzete, jövőbeni lehetőségei Magyarországon. Budapest, 97 p. <http://www.geotermika.hu/portal/files/mta-geotermika.pdf>, letöltés ideje: 2013. 01. 02.
- 103) Málovics Gy. – Bajmócy Z. (2009): A fenntarthatóság közgazdasági értelmezései. *Közgazdasági Szemle*. 56. évf. 5. sz. pp. 464-483.
- 104) Marjainé Szerényi Zs. (2005): *A természetvédelemben alkalmazható közgazdasági értékelési módszerek*. KvVM, Budapest, 157 p. ISBN: 963 218 307 x
- 105) Marjainé Szerényi Zs. (2011): Az ökoszisztéma-szolgáltatások közgazdaságtudományi megközelítése. *Magyar Tudomány*. 172. évf. 7. sz. pp. 788-794.
- 106) Marjainé Szerényi, Zs. – Kerekes, S. - Flachner, Zs. – Milton, S. (2011): The possibility of the economic evaluation of ecosystem services described through a domestic case study. pp.: 63-74, in: Nagy, Gergő Gábor – Kiss, Veronika (szerk.): *Borrowing services from nature. Methodologies of ecosystem services based on Hungarian case studies*. Budapest, CEEweb. ISBN 978-963-87218-7-7
- 107) Marjainé Szerényi Zs. (1999): Megfizethető-e a megfizethetetlen? – A természet pénzbeli értékeléséről az ökológiai gazdaságtan és egy hazai felmérés tükrében. *Kovács*. 3. évf. 3. sz. pp. 188-189.
- 108) Marosvölgyi B. (2004): Magyarország biomassza-energetikai potenciálja. *Energiagazdálkodás*. 45. évf. 6. sz. pp. 16-19.
- 109) Mavir Zrt. (2013): Bruttó hazai villamos energia felhasználás (TWh), 2012. http://www.mavir.hu/documents/10258/2271650/R%C3%A9szletes+havi+brutt%C3%B3+energia+adatok+2012_12+HU+.pdf/e65c88a3-0c36-4c57-8a87-cfb4309608f9, letöltés ideje: 2013. 01. 15.
- 110) Menegaki, A. (2006): Valuation for renewable energy: A comparative review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Volume 12. Issue 9. pp. 2422-2437.
- 111) McBride, A. C. – Dale, V. H. – Baskaran, L. M. – Downing, M. E. – Eaton, L. M. – Efroymsen, R. A. – Garten Jr. C. T. – Kline, K. L. – Jager, H. I. – Mulholland, P. J. – Parish, E. S. – Schweitzer, P. E. – Storey, J. M. (2011): Indicators to support environmental sustainability of biomass energy systems. *Ecological Indicators*. Volume 11. Issue 5. pp. 1277-1289.
- 112) Modahl, I. S. – Raadal, H. L. – Bakken, T. H. (2012): Energy indicators for electricity production. *Technoport Renewable Energy Resources Conference 2012*, 2012. 04. 16-18. Trondheim, Norvégia, poszter

- 113) Nábrádi A. – Popp J. (2012): Policy challenges for food, energy and environmental security. Applied Studies in Agribusiness and Commerce – APSTRACT. Volume 6. Issue 1-2. pp. 15-25.
- 114) Nagy G. (2007): Multifunkcionális erőforrás-analízis a vidékfejlesztésben. In: Bálint J.- Nagy G. (szerk.) (2007): Vidékfejlesztés. „Gyakorlatorientált képzési rendszerek kialakítása és minőségi fejlesztése az agrár-felsőoktatásban” című program keretében készült egyetemi tankönyv CD. DE ATC AVK, Debrecen., 240-246.
- 115) NFM (2010): Magyarország megújuló energia hasznosítási cselekvési terve 2010-2020. Nemzeti Fejlesztési Minisztérium, Budapest, 226 p. ISBN 978-963-89328-0-8
- 116) NFM (2011): Szabályozási koncepció a megújuló- és alternative energiaforrásokból előállított hő- és villamos energia kötelező átvételi rendszerről. Nemzeti Fejlesztési Minisztérium, Budapest, 26 p.
- 117) NFÜ (2009) Útmutató a fenntartható fejlődés érvényesítéséhez. Nemzeti Fejlesztési Ügynökség, 24 p. <http://www.nfu.hu/doc/4>, letöltés ideje: 2010. 06. 20.
- 118) NFFT (2012): A fenntarthatóság felé való átmenet nemzeti koncepciója – Nemzeti fenntartható fejlődési keretstratégia 2012-2024. Nemzeti Fenntartható Fejlődési Tanács. http://www.nfft.hu/dynamic/NFFS_rovid_OGYhat_melleklete_2012.05.16_vegso.pdf, letöltés ideje: 2012. 12. 03.
- 119) Ness, B. – Urbel-Piirsalu, E. – Anderberg, S. – Olsson, L. (2007): Categorising tools for sustainability assessment. Ecological Economics. Volume 60. Issue 3. pp. 498-508.
- 120) Pálvölgyi T. (2000): Az új évezred környezeti kihívása: az éghajlatváltozás. L'Harmattan. Budapest, 105 p. ISBN: 963 03 4210 3
- 121) Pálvölgyi T. – Csete M. (2011): A fenntarthatóság felé való átmenet lehetőségei Magyarországon. Gazdálkodás. 55. évf. 5. sz. pp. 467-478.
- 122) Pearce, D. (1998): Auditing the Earth. Environment. Volume 40. Number 2. pp. 23-28.
- 123) Phillips, J. (2010): Evaluating the level and nature of sustainable development for a geothermal power plant. Renewable and sustainable energy reviews. Volume 14. Issue 8. pp. 2412-2425.
- 124) Popp J. – Potori N. (2011): A biomassza energetikai célú termelése Magyarországon. Agrárgazdasági Kutató Intézet, Budapest, 160 p. ISBN: 978-963-491-570-6
- 125) Popp J. (2013): A bioenergia szerepe az energiaellátásban. Gazdálkodás. 57. évf. 5. sz. pp. 419-435.
- 126) Pylon Kft. (2010a): Magyarország 2020-ig hasznosítható megújuló energiaátalakító megvalósult technológiáinak kiválasztása, műszaki-gazdasági mutatói adatbázisa. Pylon Kft., Budapest, 92 p.

- 127) Pylon Kft. (2010b): Magyarország 2020-ig hasznosítható megújuló energiapotenciáljának gazdaságossági, megtérülési-modell, optimális támogatási eszközök vizsgálata. Pylon Kft., Budapest, 149 p.
- 128) Pylon Kft. (2010c): Magyarország 2020-as megújuló energiahasznosítási kötelezettség vállalásának teljesítési ütemterv javaslata. Pylon Kft., Budapest, 225 p.
- 129) Pylon Kft. (2010d): Magyarország 2020-as megújuló energiahasznosítási terv programjavaslatához a II. ütemben kidolgozott „E” „F” „G” „H” kötetekben foglalt részletes számítási eredmények összegzése. Pylon Kft., Budapest, 29 p.
- 130) Raadal, H. L. – Modahl, I. S. – Bakken, T. H. (2012): Energy indicators for electricity production. Stfold Research, ISBN: 978-82-7520-666-2
- 131) Reményi K. (2007): Megújuló energiák. Akadémiai Kiadó, Budapest, 290 p. ISBN: 978-963-05-8458-6
- 132) Ren, J. – Fadele, A. – Mason, M. – Manzardo, A. – Scipioni, A. (2013): Fuzzy Multi-actor Multi-criteria Decision Making for sustainability assessment of biomass-based technologies for hydrogen production. International Journal of Hydrogen Energy. Volume 38. pp. 9111-9120.
- 133) Renn, O. (2003): Social assessment of waste energy utilization scenarios. Energy. Volume 28. Issue 13. pp. 1345-1357.
- 134) Ribeiro, F. – Ferreira, P. – Araújo, M. (2013): Sustainability assessment of electricity production using a logic models approach. Renewable and Sustainable Energy Reviews. Volume 28. pp. 215-223.
- 135) Rideg, A. – Deutsch, N. – Torjai, L. (2009): Biogázüzem telepítésének többszemponútú értékelése. Energiagazdálkodás. 50. évf. 3. sz. pp. 26-29.
- 136) del Rio, P. (2011): Analysing future trends of renewable electricity in the EU in a low-carbon context. Renewable and Sustainable Energy Review. Volume 15. Issue 5. pp. 2520-2533.*
- 137) del Rio, P. – Burguillo, M. (2009): An empirical analysis of the impact of renewable energy deployment on local sustainability. Renewable and Sustainable Energy Reviews. Volume 13. issues 6-7. pp. 1314-1325.
- 138) del Rio, P. – Burguillo, M. (2008): Assessing the impact of renewable energy deployment on local sustainability: towards a theoretical framework. Renewable and Sustainable Energy Reviews. Volume 12.
- 139) Rockström, J. – Steffen, W – Noone, K – Persson, L. – Chapin, F. S. – Lambin, E. F. – Lenton, T. M. – Scheffer, M. – Folke, C. – Schellnhuber, H. J. – Nykvist, - de Wit, C. A. – Hughes, T. – van der Leeuw, S. – Rodhe, H. – Sörlin, S. – Snyder, P. K. – Costanza, R. – Svedin, U. – Falkenmark, M. – Karlberg, L. – Corell, R. W. – Fabry, W. J. – Hansen, J. – Walker, B. – Liverman, D. – Richardson, K. – Crutzen, P. – Foley, J. A. (2009): A safe operating space for humanity. Nature. Volume 461. Nr. 7263. pp. 472-475.
- 140) Roth, S. – Hirschberg, S. – Bauer, C. – Burgherr, P. – Dones, R. – Heck, T. – Schenler, W. (2009): Sustainability of electricity supply technology portfolio. Annals of Nuclear Energy. Volume 36. Issue 3. pp. 409-416.

- 141) Rybach L. (2003): Geothermal energy: sustainability and the environment. *Geothermics*, Volume 32. Issues 4-6. pp. 463-470.
- 142) Saidur, R. – Rahim, N. A. – Islam, M. R. – Solangi, K. H. (2011): Environmental impact of wind energy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Volume 15. Issue 5. pp. 2423-2430.
- 143) Schenler, W. – Hirschberg, S. – Burgherr, P. – Makowski, M. – Granat, J (2009): Final report on sustainability assessment of advanced electricity supply options. Deliverable no 10.2–RS 2b of the NEEDS project, FP6, Project no: 502687. PSI, Villigen, CH, IIASA, Laxenburg, 64 p.
- 144) Seidl, A. F. – Moraes, A. S. (2000): Global valuation of ecosystem services: application to the Pantanal da Nhecolandia, Brazil. *Ecological Economics*. Volume 29. Issue 1. pp. 1-6.
- 145) Sembery P. – Tóth L. (szerk.) (2004): Hagyományos és megújuló energiák. Szaktudás Kiadó Ház, Budapest, 522 p. ISBN: 963-9553-15-8
- 146) Simon, S. – Wiegmann, K. (2009): Modelling sustainable bioenergy potentials from agriculture for Germany and Eastern European countries. *Biomass and Bioenergy*. Volume 33. issue 4. pp. 603-609.
- 147) Simongáti Gy. (2009): STPI (a fenntartható közlekedés mutatója) kidolgozása a belvízi hajózás fenntarthatóság elve szerinti értékeléséhez. PhD Disszertáció. Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Budapest, 123 p.
- 148) Singh, R. K. – Murty, H. R. – Gupta, S. K. – Dikshit, A: K. (2012): An overview of sustainability assessment methodologies. *Ecological Indicators*. Volume 15. Issue 1. pp. 281-299.
- 149) Shen, Y-C. – Lin, G. T. R. – Li, K-P. – Yuan, B. J. C. (2010): An assessment of exploiting renewable energy sources with concerns of policy and technology. *Energy Policy*. Volume 38. Issue 8. pp. 4604-4616.
- 150) Schilling, M. – Esmundo, M. (2009): Technology S-curves in renewable energy alternatives: Analysis and implications for industry and government. *Energy policy*. Volume 37. Issue 5. pp. 1767-1786.
- 151) Stamford, L. – Azapagic, A. (2012): Life cycle sustainability assessment of electricity options for the UK. *International Journal of Energy Research*. Volume 36. Issue 14. pp. 1263-1290.
- 152) Szabó G. – Kuti I. (2007): Az Európai Unió környezetpolitikája. pp. 166-191. In: Villányi L. – Vasa L. (Szerk.) (2007): *Agrárgazdaságtan*. Szaktudás Kiadó Ház. Budapest, 288 p. ISBN: 9639736504
- 153) Szabó, Z. (2011): Reducing protest responses by deliberative monetary valuation: Improving the validity of biodiversity valuation. *Ecological Economics*. 72. évf. 1. sz. pp. 37-44.
- 154) Szántó R. (2012): Többszempon্তু részvételi döntések a fenntarthatósági értékelésben – a legnépszerűbb módszerek összehasonlítása. *Versenyképesség Kutatás Műhelytanulmány sorozat*. BCE Versenyképesség Kutató Központ. 31 p.
- 155) Szalai S. – Gács I. – Tar K. – Tóth P. (2010): A szélenergia helyzete Magyarországon. *Magyar Tudomány*. 171. évf. 8. sz. pp. 947-958.

- 156) Szarka L. (2010): Szempontok az energetika és környezet kapcsolatához. Magyar Tudomány. 171. évf. 8. sz. pp. 979-989.
- 157) Szeredi I. – Alföldi L. – Csom Gy. – Mészáros Cs. (2010): A vízenergia-hasznosítás szerepe, helyzete, hatásai. Magyar Tudomány. 171. évf. 8. sz. pp. 959-978.
- 158) Szilvácsku Zs., Karacs L., Varga Cs., Marjainé Szerényi Zs., Kollányi L., Vetier M. (2007a): A Gazdaságfejlesztési és Közlekedési Operatív Program környezeti vizsgálata. Budapest, 223 p. www.nfu.hu/download/8473/GOP_KÖZOP_SKV.pdf, letöltés ideje: 2010. 03. 12.
- 159) Szilvácsku Zs. – Varga Cs. – Marjainé Szerényi Zs. – Csutora M. – Nemcsicsné Zsóka Á. – Kiss K. – Kiss G. – Harangozó G. – Tóth G. – Vári A. (2007b): A Környezet és Energia Operatív Program környezeti vizsgálata. Budapest, 165 p. www.nfu.hu/download/1768/KEOP_070628_Hu.pdf, letöltés ideje: 2010. 03. 12.
- 160) Szirmai V. (1999): A környezeti érdekek Magyarországon. Pallas Stúdió. Budapest, 191 p. ISBN: 963-9207-16-0
- 161) Szirmai V. – Baráth G. – Molnár B. – Szépvölgyi Á. (2005): Kinek az érdeke a társadalmi részvétel környezetvédelmi ügyekben? ÖKO. 13. évf. 1-2. sz. pp. 46-64.
- 162) Szilávik J. (2006a): A nem fenntartható növekedés és a fenntartható fejlődés jellemzői. pp. 212-234. In: Bulla M. – Tamás P. (szerk.) (2006): Fenntartható fejlődés Magyarországon. Új Mandátum Könyvkiadó. Budapest, 511 p. ISBN: 963 9609 38 2
- 163) Szilávik J. (2006b): A környezet gazdasági értékelése. Magyar Tudomány. 166. évf. 1. sz. pp. 78-87.
- 164) Tan, R. R. – Promentilla, M. A. B. (2012): A methodology for augmenting sparse pair wise comparisons matrices in AHP: applications to energy systems. Clean Technologies And Environmental Policy. Volume 14.
- 165) Thórhallsdóttir, T. E. (2007): Strategic planning on the national level: Evaluating and ranking energy projects by environmental impact. Environmental Impact Assessment Reviews. Volume 27. Issue 6. pp. 545-568.
- 166) Tombácz E. – Magyar E. – Mozsgai K. – Pálvölgyi T. – Fleisher T. – Gyulai I. – Szilvácsku Zs. (2003): Stratégiai Környezeti Vizsgálat a Regionális Operatív Program környezeti szempontú ex-ante értékelésének megalapozásához. Budapest, 121 p. http://www.terport.hu/webfm_send/194, letöltés ideje: 2010. 03. 12.
- 167) Tóthné Szita K. (2012a): A regionális energiaszektor környezeti aspektusai. pp. 157-162. In: Radácsiné Almai M. – Roncz J. (Szerk.) (2012): Energiagazdálkodás és fenntarthatóság – Az energiaszektor környezeti és gazdasági vonatkozásai az Észak-Magyarországi régióban. Miskolci Egyetemi Kiadó. Miskolc, 201 p. ISBN: 978-615-5216-10-7
- 168) Tóthné Szita K. (2012b): Az energiatermelés és -fogyasztás környezeti összefüggései. pp. 81-110. In: Radácsiné Almai M. – Roncz J. (Szerk.) (2012): Energiagazdálkodás és fenntarthatóság – Az energiaszektor környezeti és gazdasági vonatkozásai az Észak-Magyarországi régióban. Miskolci Egyetemi Kiadó. Miskolc, 201 p. ISBN: 978-615-5216-10-7
- 169) Tsoutsos, T. – Frantseskaki, N. – Gekas, V. (2005): Environmental impacts from solar energy technologies. Energy Policy. Volume 33. Issue 3. pp. 289-296.

- 170) Tsoutsos, T. – Drandaki, M. – Frantzeskaki, N. – Iosifidis, E. – Kiosses, I, (2009): Sustainable energy planning by using multi-criteria analysis application in the Island of Crete. *Energy Policy*. Volume 37. Issue 5. pp. 1587-1600.
- 171) Ulbert, J. – Takács, A. (2007): Energetikai beruházások társadalmi hasznosságának mérése. *Via Futuri* 2007. Pécs. pp. 88-101.
- 172) UNEP (2011): Renewable energy: investing in energy and resource efficiency. United Nations Environment Programme. 44 p. http://www.unep.org/greenconomy/Portals/88/documents/ger/GER_6_Renewable_Energy.pdf*, letöltés ideje: 2012. 08. 22.
- 173) Vajda Gy. (2004): Energiaellátás ma és holnap. MTA Társadalomkutató Központ, Budapest, 385 p. ISBN: 963-508-424-2
- 174) Varga, K. – Homonnai, G. (2009): Munkahelyteremtés zöld energiával. Budapest: Energia Klub. 17 p.
- 175) Vinodh, S. (2011): Assessment of sustainability using multi-grade fuzzy approach. *Clean Technologies And Environmental Policy*. Volume 13. pp. 509-515.
- 176) Wagner, H-J. – Pick, E. (2004): Energy yield ration and cumulative energy demand for wind energy converters. *Energy*. Volume 29. Issues 12-15 . pp. 2289-2295.
- 177) Wang, S. – Liu, J. – Wang, R. – Ni, Z. – Xu, S. – Sun, Y. (2011): Impact of socioeconomic development on ecosystem services and its conservation strategies: a case study of Shandong Province, China. *Environmental Monitoring Assessment*. Volume 184. Issue 5. pp. 3213-3229
- 178) Wang, Z. – Zhang, B. – Zhang, S. – Song, K. – Duan, H. (2005): Estimates of loss in ecosystem values of Songnen Plain from 1980 to 2000. *Journal of Geographical Sciences*. Volume 15. Issue 1. pp. 80-86.
- 179) WEC (2010): Energy efficiency: A recipe for success. World Energy Council. 170 p. http://www.worldenergy.org/documents/fdeneff_v2.pdf, letöltés ideje: 2013. 01. 09.
- 180) Yu, S. – Shang, J. – Guo, H. (2004): Evaluation of ecological services in Jilin province, Northeast China. *Chinese Geographical Science*. Volume 14. Number 3. pp. 215-220.
- 181) Zang, S. – Wu, C. – Liu, H. – Na, X. (2011): Impact of urbanization on natural ecosystem service values: a comparative study. *Environmental Monitoring Assessment*. Volume 179. pp. 575-588.
- 182) Zhao, B. – Li, B. – Zhong, J. – Nakagoshi, N. – Chen, J. (2005): Estimation of ecological service values of wetlands in Shanghai, China. *Chinese Geographical Science*. Volume 15. Number 2. pp. 151-156.
- 183) Zsembera G. (2011): A megújuló alapú hőtermelés támogatásának hazai rendszere. http://energiaklub.hu/sites/default/files/zsembera_g_res_ho.pdf, letöltés ideje: 2012. 10. 01.

Kizárólag a technológia-értékelés céljára felhasznált források

- 1) Blodgett, L. – Slack, K. (2009): Basics of geothermal energy production and use. Geothermal Energy Association. 55 p. http://www.geo-energy.org/reports/geo101_final_feb_15.pdf, letöltés ideje: 2012. 12. 23.
- 2) Böhme, D. – Dürrschmidt, W. – van Mark, M. (2011): Renewable energy sources in figures. Federal ministry for the Environment, nature Conservation and nuclear Safety (BMU), Berlin, 116 p. https://secure.bmu.de/fileadmin/bmu-import/files/english/pdf/application/pdf/broschuere_ee_zahlen_en_bf.pdf, letöltés ideje: 2012. 07. 17.
- 3) Brown, A. – Müller, S. – Dobrotkova, Z. (2011): Renewable energy – markets and prospects by technology. OECD/IEA. Paris, 66 p. http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Renew_Tech.pdf, letöltés ideje: 2012. 07. 11.
- 4) Cowan, K. R. – Daim, T. (2009): Comparative technological road-mapping for renewable energy. Technology in Society. Volume 31. Issue 4. pp. 333-341.
- 5) DEFRA (2011): Guidelines to Defra / DECC's GHG Conversion Factors for Company Reporting. 50 p. <http://www.defra.gov.uk/publications/files/pb13773-ghg-conversion-factors-2012.pdf>, letöltés ideje: 2012. 08. 21.
- 6) Department of Energy and Climate Change (2011): Review of the generation costs and deployment potential of renewable electricity technologies in the UK. London, 315 p. https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/42843/3237-cons-ro-banding-arup-report.pdf, letöltés ideje: 2012. 04. 03.
- 7) EREC/Greenpeace (2009): Working for the climate – renewable energy & the green jobs [r]evolution. In Varga, K. – Homonnai, G. (2009): Munkahelyteremtés zöld energiával. Energia Klub, Budapest, 17 p.
- 8) Evans, A. – Strezov, V. – Evans, T. J.: Comparing the sustainability parameters of renewable, nuclear and fossil fuel electricity generation technologies. 20 p. <http://www.worldenergy.org/documents/congresspapers/272.pdf>, letöltés ideje: 2012. 08. 07.
- 9) Fthenakis, V. – Hyung Chul Kim (2009): Land use and electricity generation: A life-cycle analysis. Renewable and Sustainable Energy Reviews. Volume 13. Issues 6-7. pp. 1465-1474.
- 10) Gómez, A. – Zubizarreta, J. – Dupazo, C. – Fuayo, N. (2011): Spanish energy roadmap to 2020: Socioeconomic implications of renewable targets. Energy. Volume 36. Issue 4. pp. 1974-1985.
- 11) Guerrero-Lemus, R. – Martínez-Duart, J.M. (2013): Renewable Energy and CO₂: Current Status and Costs. pp. 9-33. In: Renewable energy and CO₂. (szerk. Guerrero-Lemus, R. – Martínez-Duart, J.M.). Springer-Verlag, London, 376 p. ISBN: 978-1-4471-4384-0
- 12) Haas, R. – Panzer, C. – Resch, G. – Ragwitz, M. – Reece, G. – Held, A. (2011): A historical review of promotion strategies for electricity from renewable energy sources in EU countries. Renewable and Sustainable Energy Reviews. Volume 15. Issue 2. pp. 1003-1034.

- 13) International Energy Agency (IEA) (2010): Projected cost of generating electricity. Editon 2010. IEA/OECD.
<http://www.debateco.fr/sites/default/files/2010%20IEA%20BOECD%20on%20Costs%20Electricity%20.pdf>, letöltés ideje: 2012. 06. 22.
- 14) International Energy Agency (IEA) (2007): Renewables for heating and cooling. OECD/IEA. Paris, 210 p.
- 15) International Energy Agency (IEA) (2010): Technology Brief. Hydropower; CSP; geothermal; PV.
http://www.unep.org/greeneconomy/Portals/88/documents/ger/GER_6_RenewableEnergy.pdf;
http://iea-etsap.org/web/Highlights%20PDF/E10_CSP_GS_tc_gs_final%201.pdf;
http://iea-etsap.org/web/E-TechDS/PDF/E06-geoth_energy-GS-gct.pdf;
http://iea-etsap.org/web/Highlights%20PDF/E11_PV_gs_am_gb_gsEPIA2011_FINALDRAFT%201.pdf
- 16) International Energy Agency (IEA) (2012): Technology roadmap – solar heating and cooling. IEA, 50 p.
http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/2012_SolarHeatingCooling_Roadmap_FINAL_WEB.pdf, letöltés ideje: 2013. 01. 27.
- 17) International Labour Office (ILO) (2011): Investment in renewable energy generates jobs. Supply of skilled workforce needs to catch up. 12 p.
http://www.uncsd2012.org/content/documents/skills_research%20brief_renewable%20energy.pdf
- 18) International Renewable Energy Agency (IRENA) (2012): Renewable energy technologies: cost analysis series, Volume 1: Power Sector, Issue 1-5, Bonn, 60 p., 48 p., 44 p., 45 p., 64 p.
- 19) IT Power (Australia) (2012): Realizing the potential of concentrating solar power in Australia. 273 p. Australian Solar Institute, ISBN (online): 978-0-9873356-2-3
- 20) Kalt, G. – Kranzl, L. (2011): Assessing the economic efficiency of bioenergy technologies in climate mitigation and fossil fuel replacement in Austria using a techno-economic approach. Applied Energy. Volume 88. Issue 11. pp. 3655-3684.
- 21) Krothepalli, A.: Concentrated solar thermal power. 33 p.
<http://esc.fsu.edu/documents/CSP/Krothapalli%20Article.pdf>, letöltés ideje: 2013. 02. 02.
- 22) Krohn, S. (Szerk.) – Morthorst, P. – Awerbuch, S. (2009): The economics of wind energy. European Wind Energy Association (EWEA), 156 p.
http://www.windenergie.nl/sites/windenergie.nl/files/documents/the_economics_of_windenergy_ewea.pdf, letöltés ideje: 2012. 07. 22.
- 23) Lambert, R. J. – Silva, P. P. (2012): The challenges of determining the employment effects of renewable energy. Renewable and Sustainable Energy Reviews. Volume 16. Issue 7. pp. 4667-4677.
- 24) Losekann, L. – Marreiro, G. A. – Ramos-Real, F. J. – Almeida, E. F. (2012): Efficient Power Generating Portfolio in Brazil: Conciliating Cost, Emissions and Risk. IE-UFRJ. 20 p. http://www.anpec.org.br/encontro/2012/inscricao/files_I/i7-b6a89b427c4e18d00656ba13936be03b.pdf, letöltés ideje: 2012. 07. 20.

- 25) McDermott, F. (2012): UK jobs in the bioenergy sectors by 2020. NNFC. York, 43 p.
https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/48341/5131-uk-jobs-in-the-bioenergy-sectors-by-2020.pdf, letöltés ideje: 2012. 08. 06.
- 26) McDonald, R. I. – Fargione, J. – Kiesecker, J. – Miller, W. M. – Powell, J. (2009): Energy Sprawl or Energy Efficiency: Climate Policy Impacts on Natural Habitat for the United States of America. PLoS ONE. Volume 4. Issue 8. pp. 1-11.
- 27) Mitavachan, H. – Srinivasan, J. (2012): Is land really a constraint for the utilization of solar energy in India. Current Science. Volume 103. Issue 2. pp. 163-168.
- 28) Moreno, B. – López, A. J.: (2008): The effect of renewable energy on employment. The case of Asturias (Spain) Renewable and Sustainable Energy Reviews. Volume 12. Issue 3. pp. 732-751.
- 29) MVV Consulting (2007): Heating and cooling from renewable energies: costs of national policies and administrative barriers 71 p.
http://ec.europa.eu/energy/res/sectors/doc/heating_cooling/2007_06_15_res_hc_study_en.pdf, letöltés ideje: 2012. 07. 24.
- 30) OECD/IEA (2007): Renewables for heating and cooling. OECD/IEA, http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Renewable_Heating_Cooling_Final_WEB.pdf, letöltés ideje: 2013. 01. 15.
- 31) Onat, N. – Bayar, H. (2010): The sustainability indicators of power production systems. Renewable and Sustainable Energy Reviews. Volume 14. Issue 9. pp. 3108-3115.
- 32) Pembina Institute (2004): Canadian renewable electricity development: employment impacts.
<http://www.cleanairrenewableenergycoalition.com/documents/Employment-Predictions.pdf>, letöltés ideje: 2013. 01. 27.
- 33) Remedio, E. M. – Domac, J. U. (2003) Socio-economic analysis of bioenergy systems: a focus on employment. FAO Forestry Department, 53 p.
http://www.globalbioenergy.org/uploads/media/0312_FAO_-_Socio-economic_analysis_of_bioenergy_systems_a_focus_on_employment.pdf, letöltés ideje: 2012. 08. 05.
- 34) Rodehorst, A. M. (2007): Evaluating Expected Electric Generation Technology Cost and Risk Applying Modern Portfolio Theory to North Carolina Electric Power Generation. Duke University, 63 p.
http://dukespace.lib.duke.edu/dspace/bitstream/handle/10161/420/MP_amr30_a_200712.pdf?sequence=1, letöltés ideje: 2012. 09. 20.
- 35) Rutovitz, J. – Atherton, A. (2009): Energy sector jobs to 2030: a global analysis. Prepared for Greenpeace International by the Institute for Sustainable Futures, University of Technology, Sydney, 117 p.
- 36) Sovacool, B. K. (2008): Renewable Energy: Economically sound, politically difficult. The Electricity Journal. Volume 21. Issue 5. pp. 18-29.
- 37) Stefani, S. (Szerk.): Renewable Energies: State of the Art Technological Solutions, Environmental Impact, Legislative Framework and Future Development. EnergyLab, 35 p. http://www.energylabfoundation.org/wp-content/uploads/2012/04/Renewable-Energies_-_State-of-the-Art-Executive-Summary.pdf, letöltés ideje: 2012. 09. 30.

- 38) Timilsina, G. R. – Kurgelashvili, G. L. – Narbel, P. A. (2011): A review of solar energy: markets, economics and policies. Policy Research Working Paper. Nr. 5845. The World Bank, 44 p.
- 39) U.S. Department of Technology (DOE) (1997): Renewable energy technology characterizations. 283 p. <http://www.nrel.gov/docs/gen/fy98/24496.pdf>, letöltés ideje: 2012. 07. 03.
- 40) Wackernagel, M. – Mondfreda, C. (2004): Ecological footprints and energy. Encyclopedia of energy. Volume 2. pp. 1-11.
- 41) Wei, M. – Patadia, S. – Kammen, D. M. (2010): Putting renewables and energy efficiency to work: How many jobs can the clean energy industry generate in the US? Energy Policy. Volume 38. Issue 2. pp. 919-931.
- 42) Wong, K. (2009): Wind farm valuation. Princeton University. 98 p. <http://www.castlelab.princeton.edu/theses/Kimlee%20Wong%20Senior%20Thesis%20April%202009.pdf>, letöltés ideje: 2012. 10. 02.
- 43) (WCD) World Commission on Dams (2000): Electricity supply and demand side management options. Annex 1. Cape Town, 295 p. http://www.swissdams.ch/Committee/Dossiers/wcd/Thematic%20review/tr41_reviewdraft_annexes.pdf, letöltés ideje: 2012. 08. 25.
- 44) Zheng, N. – Fridly, D. G. (2011): Alternative Energy Development and China's Energy Future. Lawrence Berkeley National Laboratory, 111 p. <http://www.escholarship.org/uc/item/8s44v7hk#page-3>, letöltés ideje: 2012. 09. 05.

A DOLGOZAT TÉMÁJÁHOZ KAPCSOLÓDÓ SAJÁT PUBLIKÁCIÓK JEGYZÉKE

Nemzetközi folyóiratban megjelent közlemény

Dombi M. – Kuti I. – Balogh P. (2012): *Aspects of the sustainable utilization of renewable energy sources.* Applied Studies in Agribusiness and Commerce – APSTRACT, 2012/5-6., pp. 91-95. ISSN: 1789-7874

IF: 0,04

Hazai folyóiratban idegen nyelven megjelent közlemény

Dombi M. – Kuti I. – Balogh P. (2011): *Interpretation of sustainability in the case of utilization of renewable energy sources.* Agrártudományi Közlemények (Acta Agraria Debreceniensis), 2011/44., pp. 61-64. ISSN: 1588-8363

Hazai folyóiratokban megjelent közlemények

Dombi M. (2013): *A megújuló energiaforrások technológiai és a vidékfejlesztés céljai.* A Falu, 2013/2., pp. 55-69. ISSN: 0237-4323

Dombi M. – Kuti I. – Balogh P. (2012): *Adalékok a megújuló energiaforrásokra alapozott projektek fenntarthatósági értékeléséhez.* Gazdálkodás, 2012/5., pp. 410-425. ISSN: 0046-5518

Dombi M. (2012): *Környezeti hatások értékelésének lehetősége ökoszisztéma-szolgáltatások alapján.* Tér és Társadalom, 2012/2., pp. 40-56. ISSN: 2062-9923.

Dombi M. (2010): *Egy fenntartható energiarendszer hatékonysági vizsgálata.* Energiagazdálkodás, 2010/4., pp. 3-9. ISSN: 0021-0757

Dombi M. – Balázs Á. (2010): *Magyarország maximális agro-erdészeti energia-potenciáljának számítása az agroökológiai lehetőségek figyelembevételével.* Gazdálkodástudományi Közlemények, 2. pp. 7-17. ISSN: 2061-2443

Dombi M. (2009): *Fenntartható energiagazdálkodás – a megújuló energiaforrások hasznosításának jelentősége, korlátai és lehetőségei.* Agrártudományi Közlemények (Acta Agraria Debreceniensis), 2009/33., pp. 145-154. ISSN: 1587-1282

Nemzetközi konferenciákon tartott előadás, poszter prezentáció

Dombi M. – Kuti I. – Balogh P. (2013): *Sustainability assessment of renewable energy based power and heat generation technologies*. European Conference on Materials and Technologies for Sustainable Growth. 19-21 September 2013. Bled, Slovenia.

Dombi, M. – Kuti, I. – Balogh, P. (2012): *Sustainability assessment of certain renewable energy based projects in Hungary*. Technoport 2012 – Sharing possibilities, RERC – Renewable Energy Research Conference, Trondheim, 16-18 April 2012, poszter, Book of Abstracts, 267 p. (Poster abstract, p. 218) http://2012.technoport.no/upload/Technoport_RERC_2012_abstract_book.pdf

Dombi M. (2009): *Analiza efektywności zrównoważonego i trwałego systemu energetycznego*. [A fenntartható energiagazdálkodás hatékonyságának kérdései]. XII. Konferencja Młodych Badaczy [XII. Fiatal Kutatók Konferenciája], Varsói Egyetem Regionális és Globális Tanulmányok Intézet, Varsó, 2009. december 7. (Előadás)

Hazai konferencián tartott előadás, konferenciakötetben megjelent lektorált tanulmány

Dombi, M. – Kuti, I. – Balogh, P. (2012): *Megújuló energiaforrásokra alapozott technológiák fenntarthatósági értékelése*. III. Települési Környezet Konferencia, Debrecen, 2012. november 22-23. In: *A környezettudatos települések felé*, Meridián Alapítvány, Debrecen, 2012, pp. 13-20. ISBN: 978-963-08-5294-4

Dombi M. (2010): *Megújuló energiaforrások – fenntarthatók és „fenntarthatóbbak”*. In: *A közép-európai terület-, település-, vidék- és környezetfejlesztéssel foglalkozó doktori iskolák találkozója, és „Félidőben”c. konferenciája*. Pécs, Magyarország, 2010.10.08-09. PTE KTK Regionális Politika és Gazdaságtan Doktori Iskola, pp. 263-274. ISSN: 1588-5348.

Dombi M. – Karcagi-Kováts A. (2010): *A jövő gazdaságának anyagi alapjai*. Előadás „Hitel, Világ, Stádium”, Nyugat-Magyarországi Egyetem, Sopron, 2010. 11. 03. ISBN:978-963-9883-73-4

Hazai konferencián, idegen nyelven tartott előadás

Dombi, M. (2012): *General Sustainability Assessment of Renewable Energy Technologies*. Scientific Conference of University of Debrecen Centre for Agricultural and Applied Economic Sciences and University of Oradea Faculty of Environmental Protection, Debrecen, 30th November 2012, (Conference presentation)

Hazai konferencián tartott előadás

Dombi M. (2009): *Fenntartható európai energiagazdálkodás*. TézEUsz 2011 – Tézisek az EU-elnökségi stratégiához (Második országos tanulmányi diákkonferencia és verseny – Az országos döntőbe jutott pályamunkák), Külügyminisztérium Kommunikációs és Közkapcsolati Főosztály, EU Tájékoztató Szolgálat, Budapest, 2009, pp. 18-25.

Dombi M. (2008): *Megújuló energiaforrások szerepe az energiagazdálkodásban*. Előadás „A fenntartható fejlődés és a megújuló természeti erőforrások környezetvédelmi összefüggései a Kárpát-medencében” Tudományos Konferencián, MTA Pécsi Területi Bizottság – MTA Regionális Kutatások Központja Dunántúli Tudományos Intézete, Pécs, 2008. november 10-11. (Előadás)

TOVÁBBI SAJÁT PUBLIKÁCIÓK JEGYZÉKE

- 2012: **Dombi** M. – Bauerné Gáthy A. – Vargáné Csobán K. (2012): *Factors of material requirement*. MFA – ConAccount Section Conference 2012. Darmstadt, Németország, 2012. 09. 26-28. (Conference presentation)
- Kuti I. – Karcagi-Kováts A. – **Dombi** M. (2012): *MFA + MSA = MA – material stocks and sustainability*. MFA – ConAccount Section Conference 2012. Darmstadt, Németország, 2012. 09. 26-28. (Conference presentation)
- Dombi** M. – Bauerné Gáthy A. – Karcagi-Kováts A. – Kuti I. (2012): *Az anyagszükségletet befolyásoló tényezők Európa országaiban*. Ipari Ökológia. 1. évf. 1. szám, pp. 21-44. ISSN 2063-3254
- 2011: **Dombi** M. – Bauerné Gáthy A. – Karcagi-Kováts A. – Kuti I. (2011): *Influential factors of European economies' material requirement*. 11th International Academic Conference 'State, Economy, Society', Akademia Krakowska Andzeja Frycza Modrziewskiego, Krakó, 2011. 06. 12-14. (Conference presentation)
- 2010: **Dombi** M. (2010): *Egy fenntartható magyar gazdaság jövőképe*. A Magyar Ipari Ökológiai Társaság szimpóziuma, Debrecen, 2010. 11. 18-19. (Előadás)
- Dombi** M. – Karcagi-Kováts A. (2010): *A jövő gazdaságának anyagi alapjai*, ECO-Matrix, 2. évf. (2010) 1. szám, pp. 18-37. (ISSN 2061-344X)
http://www.lcacenter.hu/uploads/media/ECO-Matrix_2012.pdf

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A több évet felölelő kutatás során nagyon sokan segítették munkámat. Leginkább feleségemnek, Koroknai Viktóriának tartozom köszönettel, aki nemcsak mint társam nélkülözhetetlen számomra, hanem gyakran tudományos területen is igen hasznos tanácsokkal látott el. Családom többi tagjának ugyanúgy hálával tartozom. Szeretném megköszönni Dr. Kuti István konzulensemnek mérhetetlenül hasznos tanácsait, továbbá Dr. Balogh Péter kollégámnak a statisztika területén nyújtott segítségét és az azon felüli támogatását. Hálás vagyok továbbá minden kollégámnak az önzetlen segítségért, tanácsokért és támogatásért. Köszönöm Kókai Péter projektmenedzsernek a miskolci esettanulmányban nyújtott nélkülözhetetlen és készséges segítségét. Köszönettel tartozom azon szakértőknek, akik kitöltötték az általam kiküldött kérdőíveket. Köszönöm a Debreceni Egyetem minden dolgozójának, különösen a könyvtárak munkatársainak, hogy a kutatáshoz segítőkész közeget biztosítottak.

TÁBLÁZATJEGYZÉK

1. táblázat: A globális energiafelhasználás és a technikai potenciál becslései.....	16
2. táblázat: A hazai megújuló energia potenciál	20
3. táblázat: Megújuló energiaforrások hasznosítása, technológiai fejlettség szerint.....	23
4. táblázat: A változatok rangsorolása a PROMETHEE modellben	52
5. táblázat: Az indikátorok súlyai a dimenziókon belül, %.....	55
6. táblázat: Az egyes technológiák fenntarthatósági sorrendje	56
7. táblázat: A megújuló energiaforrások rangsora	57
8. táblázat: Attribútumok és attribútum szintek	64
9. táblázat: Az ökoszisztéma-szolgáltatások értéke az egyes biomokban, 10^9 USD ¹⁹⁹⁴ /év	74
10. táblázat: A különböző megújuló energiaforrások negatív környezeti hatása.....	77
11. táblázat: Ökoszisztéma-szolgáltatások értéke Magyarországon, 10^{10} HUF/év.....	79
12. táblázat: Az attribútumok jelentősége	85
13. táblázat: A megújuló energiaforrások attribútumai CE felmérésekben	88
14. táblázat: A projektértékelő adatbázis tartalma	96
15. táblázat: A feltételes választással végzett felmérés eredményei a CL modellben ..	101
16. táblázat: Az attribútumok helyettesítési határrátái (MRS).....	104
17. táblázat: A technológiák attribútum-értékei a globális értékelésben	106
18. táblázat: A technológiák attribútum-értékei a hazai értékelésben.....	112
19. táblázat: A költségek és a hatékonyság várható alakulása 2030-ig, %	116
20. táblázat: A bemeneti adatok változásának hatása a fenntarthatósági értékre	119
21. táblázat: A hazai megújuló energia keverék alapjául szolgáló potenciálbecslések; PJ/a	121
22. táblázat: Az optimális energiamix primer, ill. végső energiafelhasználása	123
23. táblázat: Miskolc megújuló energiaforrásokra alapozott távfűtési beruházásai.....	129
24. táblázat: A változatok attribútum-értékei	130

ÁBRAJEGYZÉK

1. ábra: Az energia-intenzitás változásának globális trendje; energiamennyiség/GDP (koe/US\$2005p).....	9
2. ábra: Magyarország primer energiafelhasználásának megoszlása energiahordozók szerint; %	10
3. ábra: Magyarország energiafolyam-ábrája, 2007	11
4. ábra: A fenntarthatatlan energiagazdálkodás problémaköre.....	13
5. ábra: Magyarország és a világ megújuló forrású primer energiafelhasználásának megoszlása.....	15
6. ábra: A villamos energia, hűtés-fűtés és közlekedés szektorokban felhasznált megújuló energiahordozók tervezett megoszlása (2020)	28
7. ábra: A fenntarthatósági értékelés eszközeinek csoportosítása	36
8. ábra: A fenntarthatósági értékelés módszertani kerete NESS és mtsai szerint.....	38
9. ábra: A villamos energia-rendszer többszempontú értékelése.....	43
10. ábra: Az egyes technológiák lokális fejlesztő hatása.....	46
11. ábra: A fenntarthatósági értékelés modellje; inputadatok és eredmények.....	62
12. ábra: Az energia életciklusa során felmerülő energiaigények	65
13. ábra: A megújuló energiaforrások relatív környezeti hatása, %.....	80
14. ábra: Egy választási kártya a kilenc közül	90
15. ábra: A fenntarthatóság dimenzióinak megítélése	99
16. ábra: A villamos és hőenergia előállítási technológiák globális relatív rangsora és a fenntarthatósági értékek.....	108
17. ábra: A villamos és hőenergia előállítási technológiák hazai relatív rangsora és a fenntarthatósági értékek.....	114
18. ábra: A villamos energia technológiák a globális értékelésben a 2030-ban várható költségek és a hatékonyság alapján	117
19. ábra: Az optimális megújuló energiaekeverék primer forrásai; %	126

MELLÉKELETEK

1. Melléklet: A szakértői felmérés során alkalmazott kérdőív

Kérdőív

A **fenntartható fejlődés** elve egyesíti a környezet megóvásának igényét a folyamatos gazdasági és társadalmi fejlődés lehetőségével. Az emberi civilizáció és a természet jövője érdekében a fenntartható fejlődés három „dimenziójának” (környezet, társadalom és gazdaság) összehangolt fejlesztésére kell törekednünk.

1) Hallott korábban a fenntartható fejlődésről?

☐ igen

☐ nem

2) Mennyire érzi súlyosnak korunk környezeti és társadalmi problémáit?

(Jelölje be választát az egytől ötig terjedő skálán! 1=egyáltalán nem; 5=nagyon)

1 2 3 4 5

3) Szükségesnek tartja a megújuló energiaforrások jelentősebb alkalmazását?

☐ igen

☐ nem

☐ nem tudom megítélni

4) Az alábbi kilenc választási lehetőség segítségével ábrázolt „A” és „B” változatok mind egy-egy lehetséges, megújuló energiaforrásra épülő technológiát jelképeznek. Ezek mind a jelenlegi energiarendszer átalakításának lehetőségét jelképezik. Kérem, válasszon egyet az alábbi kilenc esetben egyenként „A”; „B” és „Egyik sem” változatok közül a **fenntartható fejlődés** követelménye alapján!

(Jelölje választását az alsó sor egyik négyzetében!)

4.1.

		„A” változat	„B” változat	Egyik sem
	Légszennyezés (üvegház-hatású gázok, fosszilis energiához képest)	50%	50%	Jelenlegi energia- rendszer marad
	Területigény	20 ha	2 ha	
	Energiahatékonyság	10%	10%	
	Egyéb káros környezeti hatás (zaj, biodiverzitás, vibráció stb., fosszilis energiához képest)	20%	60%	
	Költségnövekedés	5%	30%	
	Keletkező új munkahely	2	10	
	Helyi jövedelem (a munkajövedelmen felül)	5 MFt	5 MFt	
Az Ön választása:		☐	☐	☐

4.2.

		„A” változat	„B” változat	Egyik sem
	Légszennyezés (üvegház-hatású gázok, fosszilis energiához képest)	80%	80%	Jelenlegi energia- rendszer marad
	Területigény	2 ha	20 ha	
	Energiahatékonyság	10%	30%	
	Egyéb káros környezeti hatás (zaj, biodiverzitás, vibráció stb., fosszilis energiához képest)	20%	60%	
	Költségnövekedés	30%	30%	
	Keletkező új munkahely	10	2	
	Helyi jövedelem (a munkajövedelmen felül)	15 MFt	2 MFt	
Az Ön választása:		☐	☐	☐

4.3.

		„A” változat	„B” változat	Egyik sem
	Légszennyezés (üvegház-hatású gázok, fosszilis energiához képest)	5%	50%	Jelenlegi energia- rendszer marad
	Területigény	2 ha	2 ha	
	Energiahatékonyság	30%	30%	
	Egyéb káros környezeti hatás (zaj, biodiverzitás, vibráció stb., fosszilis energiához képest)	20%	20%	
	Költségnövekedés	60%	5%	
	Keletkező új munkahely	10	20	
	Helyi jövedelem (a munkajövedelmen felül)	5 MFt	15 MFt	
Az Ön választása:		☐	☐	☐

4.4.

		„A” változat	„B” változat	Egyik sem
	Légszennyezés (üvegház-hatású gázok, fosszilis energiához képest)	80%	50%	Jelenlegi energia- rendszer marad
	Területigény	2 ha	2 ha	
	Energiahatékonyság	60%	30%	
	Egyéb káros környezeti hatás (zaj, biodiverzitás, vibráció stb., fosszilis energiához képest)	20%	20%	
	Költségnövekedés	5%	30%	
	Keletkező új munkahely	10	20	
	Helyi jövedelem (a munkajövedelmen felül)	2 MFt	2 MFt	
Az Ön választása:		☐	☐	☐

4.5.

		„A” változat	„B” változat	Egyik sem
	Légszennyezés (üvegház-hatású gázok, fosszilis energiához képest)	80%	5%	Jelenlegi energia- rendszer marad
	Területigény	2 ha	2 ha	
	Energiahatékonyság	60%	10%	
	Egyéb káros környezeti hatás (zaj, biodiverzitás, vibráció stb., fosszilis energiához képest)	60%	20%	
	Költségnövekedés	5%	5%	
	Keletkező új munkahely	20	2	
	Helyi jövedelem (a munkajövedelmen felül)	5 MFt	2 MFt	
Az Ön választása:		☐	☐	☐

4.6.

		„A” változat	„B” változat	Egyik sem
	Légszennyezés (üvegház-hatású gázok, fosszilis energiához képest)	80%	5%	Jelenlegi energia- rendszer marad
	Területigény	20 ha	2 ha	
	Energiahatékonyság	10%	10%	
	Egyéb káros környezeti hatás (zaj, biodiverzitás, vibráció stb., fosszilis energiához képest)	20%	60%	
	Költségnövekedés	60%	60%	
	Keletkező új munkahely	20	20	
	Helyi jövedelem (a munkajövedelmen felül)	15 MFt	2 MFt	
Az Ön választása:		☐	☐	☐

4.7.

		„A” változat	„B” változat	Egyik sem
	Légszennyezés (üvegház-hatású gázok, fosszilis energiához képest)	5%	80%	Jelenlegi energia- rendszer marad
	Területigény	20 ha	2 ha	
	Energiahatékonyság	30%	30%	
	Egyéb káros környezeti hatás (zaj, biodiverzitás, vibráció stb., fosszilis energiához képest)	60%	20%	
	Költségnövekedés	5%	60%	
	Keletkező új munkahely	10	2	
	Helyi jövedelem (a munkajövedelmen felül)	15 M Ft	5 M Ft	
Az Ön választása:		☐	☐	☐

4.8.

		„A” változat	„B” változat	Egyik sem
	Légszennyezés (üvegház-hatású gázok, fosszilis energiához képest)	5%	50%	Jelenlegi energia- rendszer marad
	Területigény	20 ha	2 ha	
	Energiahatékonyság	60%	60%	
	Egyéb káros környezeti hatás (zaj, biodiverzitás, vibráció stb., fosszilis energiához képest)	20%	60%	
	Költségnövekedés	30%	60%	
	Keletkező új munkahely	20	2	
	Helyi jövedelem (a munkajövedelmen felül)	5 M Ft	15 M Ft	
Az Ön választása:		☐	☐	☐

4.9.

		„A” változat	„B” változat	Egyik sem
	Légszennyezés (üvegház-hatású gázok, fosszilis energiához képest)	50%	5%	Jelenlegi energia- rendszer marad
	Területigény	20 ha	2 ha	
	Energiahatékonyság	60%	60%	
	Egyéb káros környezeti hatás (zaj, biodiverzitás, vibráció stb., fosszilis energiához képest)	20%	20%	
	Költségnövekedés	60%	30%	
	Keletkező új munkahely	10	2	
	Helyi jövedelem (a munkajövedelmen felül)	2 M Ft	15 M Ft	
Az Ön választása:		☐	☐	☐

5) Mennyire érzi fontosnak...

...a környezeti problémák megoldását?

(Jelölje be választát az egytől ötig terjedő skálán! 1=egyáltalán nem; 5=nagyon)

1 2 3 4 5

6) ...a társadalmi problémák megoldását?

1 2 3 4 5

7) ...a gazdasági problémák megoldását?

1 2 3 4 5

8) Hány éves Ön?

☐ – 18 ☐ 19 – 35 ☐ 36 – 50 ☐ 51 – 75 ☐ 76 –

9) Neme

☐ Férfi ☐ Nő

10) Az Ön legmagasabb iskolai végzettsége

☐ alapkú ☐ középfokú ☐ felsőfokú ☐ PhD

11) Az Ön állandó lakhelye

- ☐ Budapest
- ☐ Város:
- ☐ Község:
- ☐ Tanya

12) A **fenntartható fejlődés** dimenziói közül melyiket érzi a legfontosabbnak?
(Jelölje be választát az egytől ötig terjedő skálán!)

- ☐ környezeti ☐ társadalmi ☐ gazdasági ☐ pénzügyi ☐
- élelmiszeripari

13) Az Ön havi nettó jövedelme (Ft)

- ☐ 70.000 alatt
- ☐ 70.000 – 140.000
- ☐ 140.000 – 210.000
- ☐ 210.000 – 300.000
- ☐ 300.000 – 400.000
- ☐ 400.000 felett

Köszönjük válaszait! Az Ön válaszaiból nyert információkat kizárólag jelen kutatás céljaira használjuk fel.

NYILATKOZAT

Alulírott, **Dombi Mihály** (szül.: Debrecen, 1985. 07. 22.) büntetőjogi és fegyelmi felelősségem tudatában kijelentem és aláírással igazolom, hogy a doktori (Ph.D.) fokozat megszerzése céljából benyújtott értekezésem kizárólag saját, önálló munkám.

Nyilatkozom továbbá, hogy:

- az Ihrig Károly Gazdálkodás- és Szervezéstudományok Doktori Iskola szabályzatát megismertem, és az abban foglaltak megtartását magamra nézve kötelezőnek elismerem;
- a felhasznált irodalmat korrekt módon kezeltem, a disszertációra vonatkozó jogszabályokat és rendelkezéseket betartottam;
- a disszertációban található másoktól származó, nyilvánosságra hozott vagy közzé nem tett gondolatok és adatok eredeti lelőhelyét a hivatkozásokban, az irodalomjegyzékben, illetve a felhasznált források között hiánytalanul feltüntettem a mindenkori szerzői jogvédelem figyelembevételével;
- a benyújtott értekezéssel azonos, vagy részben azonos tartalmú értekezést más egyetemen, illetve doktori iskolában nem nyújtottam be tudományos fokozat megszerzése céljából.

Debrecen, 2013. 11. 14.

Dombi Mihály
aláírás