

## A fás szárú energetikai ültetvények szerepének vizsgálata az energiaellátásban

### Examination of the role of Short Rotation Coppice (SRC) plantations in the energy supply

---



#### Absztrakt

A klímaváltozás napjainkban erősödő jelei egyre inkább a fenntarthatóság felé fordítják a közvélemény figyelmét. Megállapítható, hogy a megújuló energiaforrások használata nélkül nem érhető el a környezeti-gazdasági-társadalmi fenntarthatóság. A környezettudatos gondolkodás fejlődésének bemutatása mellett a tanulmány célja a biomassza, mint feltételesen megújuló energiaforrás vizsgálata. Az elsődleges biomassza hasznosításával kapcsolatban számos környezeti aggály, bizonytalanság merült fel. Ezek indokolják, hogy a hazai kutatások eredményeire támaszkodva választ kapjunk, hogy hasznosításukkal lehetséges-e az eredetileg kitűzött fenntarthatósági célok elérése.

Kulcsszavak: fenntarthatóság, környezetterhelés, megújuló energiaforrás, biomassza-hasznosítás

#### Abstract

The signs of climate change that we all experience these days direct public attention more and more to sustainability. It is certain that environmental, economic and social sustainability cannot be achieved without renewable energy resources. The goal of this study is to present the evolution of the environmental conscious thinking and to examine the use of biomass as a conditionally renewable resource. Several environmental concerns and uncertainties arose about the use of primer biomass. Based on Hungarian research results, this study attempts to find out whether the originally proposed sustainability goals can be achieved by using biomass.

Keywords: sustainability, environmental strain, renewable resources, biomass use

## BEVEZETÉS

A fenntartható állapot elérésének feltétele a körkörös gazdaság kialakítása, melynek alapja a megújuló energiaforrások használata. A megújuló energiaforrások közé tartozik a feltételesen megújuló energiaforrásnak is nevezett biomassza, aminek egyik speciális szegmensét alkotják a rövid vágásfordulójú, fás szárú, sarjaztatásos energetikai ültetvények. Hazánkban kiemelt szerepet szánnak az ilyen típusú ültetvényeknek a szántóföldi növénytermesztésre alkalmatlan területek hasznosításában, a fenntartható mezőgazdaság elérésében. Ennek az elsődleges biomasszában a telepítése nem régi keletű, a várható teljes életciklusára vonatkozó gyakorlati tapasztalat még nem áll a rendelkezésre. Általános jellemzőjük, mint a hozamingadozás, a szezonalitás, a kis energiasűrűség nehezen tervezhetővé teszi a felhasználásukat, és egyben indokolja a hosszú távú energetikai célú hasznosításuk vizsgálatát.

Hazai kutatások eredményeire támaszkodva a tanulmány középpontjában a megújuló energiaforrások, azon belül a biomassza és a fás szárú energetikai ültetvények energiatermelésben betöltött szerepének vizsgálata áll. Felmerül a kérdés, hogy a sok alternatíva közül az energetikai ültetvények létesítése az egyik legmegfelelőbb eszköz-e a fenntarthatóság céljának elérése érdekében tett erőfeszítések között? A tanulmány erre a kérdésre keresi a választ energetikai ültetvények gazdasági-környezeti fenntarthatóságának vizsgálatával.

### 1. A FENNTARTHATÓ FEJLŐDÉS ÉRTELMEZÉSE

A fenntarthatóság és a környezettudatos gondolkodás fogalmi gyökereit még a téma szakavatottjai is más és más meghatározó munkához kötik. A fenntarthatóság a sokrétűségéből adódóan számtalan értelmezésre ad lehetőséget, és még ideológiai kialakulásának eredetére vonatkozóan sem alakult ki egységes nézet. Tóth Gergely (2013) gazdasági elmélettörténeti áttekintésében keletkezését a morál-ökonómiából, mint a közgazdaságtan régi, a haszonökonómiánál ősbibb, elfelejtett ágából származtatja. Gondolati alapjául többek között Ibn Khaldun 1375-ben íródott „The Muqaddimah”, Thomas Robert Malthus által eredetileg 1798-ban publikált „An Essay on the Principle of Population” és Alfred Marshall 1890-ben közölt „Principles of Economics” című munkáit tekinti. Ezzel ellentétben Lengyel (2011) Stimson-Stought-Roberts meghatározását alapul véve a fenntartható fejlődésre, mint a globális kihívások által a kétezres évekre életre keltett, a makroökonómián belül kialakult, nehezen meghatározható irányzatra tekint. Napjainkban általánosan elfogadott a fenntartható fejlődésnek 1987-ben megfogalmazott és azóta továbbfejlesztett háromdimenziós elmélete az ökológiai, a társadalmi és a gazdasági fenntarthatóságot egyidejű harmóniaként feltételezi (Szlávik, 2013).

Láng és Kerekes 2013-ban a Magyar Tudomány folyóiratban közölt „Megalkult a túlélés szellemi kör” című vitairatában a fenntarthatóság értelmezésén túl alapvetéseket ad a teendőkhöz és a cselekvési területekhez, amikor így

fogalmaz: „[...] a problémák felismeréséig talán eljutottunk, a megoldás megtalálása még várat magára.” (Láng-Kerekes, 2013) Lányi szerint a fenntartható fejlődés a fogalom kiüresedett, és értelmét veszítette. „Nem jelent többet, mint meddő alkudozást a gazdasági növekedés és a környezetvédelem hívei között, a fenntarthatóság helyét a közéleti közhelyszótárakban a reziliencia foglalja el.” (Lányi, 2013, 824-825 idézi: Szlávik, 2014, 99-100) Engelman (2013) szerint egyenesen a „fenntarthatósági blabla” korát éljük, amelyben a fenntartható szót mindenféle használatra használják, ami környezeti szempontból jobb, mint a szén. A klímaváltozást nagy jelentőségű hatótényezőnek tekintő Erdősi (2011) a fenntarthatóság megkésett tudatosulása miatt az alkalmazkodást tekinti elfogadhatónak a változás elleni szélmalomharccal szemben.

## **2. A MEGÚJULÓ ENERGIAFORRÁSOK SZEREPE A KÖRNYEZETTERHELÉS CSÖKKENTÉSÉBEN**

A környezetterhelés mértékének meghatározására számos indikátor áll rendelkezésre. Az emberi tevékenység környezeti hatásait szemlélteti az Ehrlich-Holdren-formula, amelyben az egymással helyettesíthető tényezők (népesség, bőség, technológia) szorzata adja a terhet (Ehrlich-Holdren, 1971). A gazdasági tevékenység főbb környezetvédelmi hatásainak fizikailag értelmezhető összegző mutatója, a környezetterhelés mértékének indikátora a Narodoslavskij nevéhez fűződő Folyamatok Fenntarthatósági Mutatója (Sustainable Process Index, SPI) és az ismertebb, először Wackenagel és Rees (1996) által publikált ökológiai lábnyom mérőszám. Utóbbi azt fejezi ki, hogy adott népesség mekkora földterületről fedezi a fogyasztásához, hulladéktárolásához szükséges erőforrásokat (gha/fő). Ez a mutató is alátámasztja, hogy a véges forrásokkal rendelkező Földön nem lehetséges végtelen gazdasági növekedés, hiszen már jelenleg is az emberi-ség körülbelül másfél föld ökológiai kapacitást használ (FNA, 2018).

A környezeti hatás mérséklése a fogyasztás visszafogása mellett az ökohatékonyságot növelő innovációkkal, termékek anyagintenzitásának (dematerializáció), energiaintenzitásának a csökkentésével, a termékek életciklusának meghosszabbításával, újrahasznosítással és az erőforrások helyettesítésével, mint például a megújuló energiák fenntartható használatával érhető el (Nádasy et al., 2012).

Először az 1973-as olajválság okozta árrobbanás és a kimerülő fosszilis energia-készletekről szóló híradások irányították a figyelmet a megújuló energiaforrások felé. A kimerülő készletekkel és a fenntarthatatlansággal összefüggésben Schultz (2005, 5) véleménye szerint „Mielőtt az összes fosszilis üzemanyagot felhasználná az emberiség, a környezeti károk miatti pusztulás szétrombolná a gazdaságot”. A megújuló energiaforrások gazdaságpolitikai szerepe megkérdőjelezhetetlen, mivel használatával a gazdaságfejlesztésen túl az ellátásbiztonság növelésére, az energiatartósság mérséklésére is lehetőség nyílik. Gazdasá-

gunk és a termelés alapját az energia adja. Ebből adódóan okkal feltételezhető, hogy energiafelhasználásunk zöldítése, a megújuló energiák használata nélkül a fenntarthatóság nem érhető el (Dinica, 2006 - idézi Fodor, 2012).

Az energiatakarékossággal, energiahatékonysággal, megújuló energiaforrásokkal kapcsolatos energetikai beruházások versenyeznek egymással. A technológiai fejlődésnek köszönhetően a költséghatékonyság nő, több megújuló termelőkapacitás építhető be egységnyi ráfordításból. A beruházás költsége a napenergia és az „offshore” tengeri szélenergia esetében csökkent látványosan, a napelem ára közel 80%-ot esett 2007 óta. A fajlagos villamos energia előállítási költség a hagyományos szélenergiánál a legalacsonyabb, ezt a napenergia követi. Az „offshore” tengeri szélenergia termelés önköltsége szintén csökken, 2016-ra elérte az égetéssel biomassza hasznosításból származó villamos energia előállítási költségét (Bloomberg, 2017; FS-UNEP, 2017). A jelenlegi várakozások szerint 2025-re a szél- és vízenergia már a működő szén- és gázenergiaénél is alacsonyabb áron lesznek képesek termelni (REN21, 2017). Az előrejelzések szerint 2040-re a megújuló energiaforrásokra alapozott villamosenergia-termelés többsége támogatások nélkül is versenyképes lesz. A 2015-ös év fordulópontot jelentett a megújuló energiaforrások számára: a világon telepített új villamosenergia-termelő kapacitás több, mint fele megújuló energiaforrás alapú volt (IEA, 2016).

Fenntarthatósági szempontból a szabályozás és a technológiai innováció eredményei összetett, olykor kedvezőtlen hatásai mellett egyben lehetőséget adnak a megújuló versenyképességének növelésére és a fosszilis tüzelőanyag-hasznosítás externális hatásainak csökkentésére is. Az egyik ilyen új technológia a keletkező szén-dioxid leválasztása, majd földalatti tárolása (Carbon Capture and Sequestration - CCS). A technológiai fejlődés következtében a nem konvencionálisan kitermelt olaj- és gázkészletek hasznosítása csökkenő árakhoz vezetett az USA-ban, és a termelés bővülésével nettó energia exportórrá válhat (Genté, 2013). Az új technológia elterjedése átrajzolni látszik a világ geopolitikáját, miközben új környezetvédelmi aggályokat is felvet. Emellett olyan új, nem hagyományos energiaátalakítások, mint a hidrogén alapú gazdaság, grafén, vagy az energiatarolással összefüggő innovációk megjelenése mind módosíthatják a viszonyokat.

### **3. BIOMASSZA-HASZNOSÍTÁS KÖRNYEZETI-GAZDASÁGI-TÁRSADALMI FENNTARTHATÓSÁGA**

A biomassza - mint feltételelesen megújuló energiaforrás - általános jellemzői (hozamingadozás, időszakosság, szezonális, relatív kis energiasűrűség) a hasznosítását is meghatározzák. A lehető legkevesebb átalakítással, helybeni használatra teszi azt alkalmassá. Számítalan felhasználási módja van, amit a hasznosítandó biomassza tulajdonsága határoz meg, ezáltal termokémiai vagy biokémiai konverzióval hőenergiát, villamos energiát vagy üzemanyagot nyerhetünk. A hasznosítás formáját tekintve lehet direkt égetés, gáztermelés,

hajtóanyag előállítás, szilárd energiahordozó előállítása (pellet, brikett). A hasznosítás módját és a teljes energiamérleg összeállítását nagyban befolyásolják az eltérő energiaigényű konverziós utak. Nádudvari (2011) modellezése szerint a biomasszából előállított energiahordozó fajtájától függően az emisszió csökkentés fajlagos költségviszonya is alapvetően változik, mert a hőfejlesztés előnyösebb, mint az üzemanyaggá alakítás. A villamosenergia-termelés gazdaságosságát, hatékonyságát javítja a keletkező hulladék hő hasznosítása (Barta-Juhász, 2014). Az energetikai célra termesztett növények biomassza termelésénél jelentkezik az évenkénti ráfordítás szükségessége, ami miatt feltételeesen megújuló energiaforrásnak tekinthető. Az energiamérleget nagyban befolyásolja a környezeti tényezőktől is függő termelés színvonala, intenzitása; illetve a hasznosítás formája, az alapanyag víztartalma és a szállítási távolság. Hasznosíthatóság szempontjából a biogáz termelés a legkedvezőbb, hiszen számos felhasználási lehetőséget nyújt és széles a hasznosítható alapanyagok köre.

A biomassza szerepét már a '80-as években növelte az akkori élelmiszer túltermelés egyik megoldásának tekintett non-food termelés (Vida-Baksa, 2009). A versenyképesség és az energia ellátásbiztonság növelésén túl az elsődleges biomassza-hasznosításra, mint a mezőgazdasági struktúraváltás egyik hatékony fegyverére tekintettek (Magda, 2007). Elsősorban a bioüzemanyag (bioetanol, biodízel) előállítás révén az energetikai célú növénytermesztés hazánkban új szereplőként tűnt fel a termőföld használatért folyó versenyben, illetve a gabona- és olajnövények piacán. A hozzá fűzött túlzott reményeket és az eltúlzott terveket bizonyítja, hogy az összes tervezett bioüzemanyag kapacitás megvalósulásakor alapanyag importra szorultunk volna (Taralik, 2007).

Az élelmiszer- és a bioüzemanyag-ipar közti konfliktus egyik megoldása a biomassza-melléktermékek, hulladékok (mezőgazdasági, erdészeti, ipari, kommunális) hasznosításának várható elterjedése. Azonban a melléktermékek hasznosítására is számos felhasználási forma tart igényt, beleértve a talajerő-visszapótlást, az állattenyésztési ágazatot, a vegyipart, emellett energiaforrásként is többféleképpen hasznosíthatóak. A bioüzemanyag előállítás szempontjából újabb lehetőség a harmadik generációs üzemanyagok megjelenése, amelyekkel teljesen elválhatna a bioüzemanyag-gyártás és a termőföldhasználat.

Adott a bioüzemanyag előállítására kedvezőbb feltételekkel és energiamérleggel bíró országokból származó import lehetősége is, de a kereslet növelése környezetvédelmi aggályokat (területi átterhelés) vet fel a termelő országokban (Sinóros-Szabó-Koncz, 2012). Ellentmondásos, hogy miközben a világelelmézési okok és a nagyfokú talajdegradáció miatt újabb földterületek művelésbe vonásának szükségességéről beszélnek, addig a bioüzemanyag hasznosítás célértékének teljesüléséhez jelentős szántóterület kerül kivonásra az élelmiszertermelés alól.

Romló körülmények között kell fokozódó igényeket kielégíteni; a termőföldért, mint erőforrásért folyó kiélezett harcot bizonyítják a tehetős, de gyengébb termőhelyi adottságokkal rendelkező országok nagymértékű földvásárlásai szegényebb országokban. A világelelmézés és a környezeti fenntarthatóság problémá-

jának együttes megoldása a területi korlátokon túl több összetett kérdést is felvet, mint például a Gyulai (2012, 79) által idézett Peter Farb gondolat: „a termelés fokozása egy megnövekedett népesség élelmezése érdekében a népesség további növekedéséhez vezet”, ez pedig a környezeti problémák elmélyülését fokozza.

A felhasználás tekintetében a biomassza a világ negyedik legelterjedtebb, a megújuló energiaforrások közül a legnagyobb mértékben használt energia-hordozó, mégis a megújulók közül a legkisebb elméleti potenciállal rendelkezik. A bioenergetikai potenciállal kapcsolatban számos publikáció született, a hazai szakmúhelyek olykor ellentmondásos véleménye következtében kialakuló bizonytalan helyzetet híven tükrözik a Popp és Potori (2011, 9) szerzőpáros könyvének bevezetőjében írottak: „Vizsgálatokat megnehezítette a különböző források hazai biomassza-potenciálra vonatkozó adatai közötti jelentős eltérés [...] Az objektív, szakmailag megalapozott elemzést és a jövőre vonatkozó következtetések levonását hátráltatta, hogy a biomassza bármilyen energetikai hasznosításáról kevés a független forrásból származó, megbízhatónak tekinthető információ”. A kalkulációkkal kapcsolatos eltéréseket Dinya (2010) az általa leírt bioenergetikai potenciálok mértékére vonatkozó eltérő becsléseket részben számításmethodikai problémákra vezeti vissza. Becslése szerint (58-328 PJ/év szélsőértékek) a fenntartható bioenergetikai potenciál hasznosítását a hazai energiamixen belül maximum 20%-os részarányra becsüli 260 PJ/év értékkel.

A biomassza-potenciál nagy részét fő-, illetve melléktermékek alkotják. Főtermék az elsősorban biohajtóanyag-előállítás céljából termesztett energianövények, de számottevő a szántóföldi növénytermesztésre alkalmatlan (17 AK alatti, belvíz- és árvízveszélyes) területek fás szárú energiaültetvény hasznosítási terve is. A Magyarország Megújuló Energia Hasznosítási Cselekvési Terve mintegy 200 ezer hektár alkalmatlan terület hasznosítását tervezi így megoldani. Gergely (2007) az általa ismertetett zöldenergia programban 440 ezer, 880 ezer és 1 millió 370 ezer hektár termőterület lekötésű forgatókönyvekkel számol hazánk 4,3 millió hektár „szántó” művelési ágú mezőgazdasági területéből. A földhasználat rendszerének a környezeti adottságokhoz és korlátaihoz a lehető legjobban kell illeszkednie. A természeti környezet, valamint a társadalmi kihívások együttes kezelése komplex válaszokat igényel, mert egymástól elválasztott megválaszolása csak rövidtávú eredményeket hozhat (Dinya, 2011). Erre jelent megoldást a kistérségi szintű fenntarthatósági modellezés.

A melléktermékek energiacélú hasznosítási lehetőségeivel többen is foglalkoznak. Hágen és Magyary (2008) szerzőpáros a melléktermékek nagyobb fokú energetikai célú felhasználását szorgalmazza, hangsúlyozva, hogy hasznosításuk szén-dioxid semleges. Ez utóbbi érvük további bizonyításra szorul annyiban, hogy a szén-dioxid egyensúlyban a szállítás és a lehetséges átalakítás (brikettálás, pelletálás) kibocsátásával is szükséges kalkulálni.

Futó (2014) megállapításával ellentétben, a szántóföldön hagyott melléktermékek is talajerő-visszapótlásként hasznosításra kerülnek, ugyanakkor ennek elmaradása a talaj degradációjához is vezethet, ami viszont a környezeti fenn-

tarthatóság célkitűzéseinek ellentmond. Ez felveti azt a problémát, hogy adott esetben a kötelezettségvállalás céljainak elérése érdekében tett lépések nagyobb természeti kárral járnak, mint előnnyel, vagy legalábbis elmarad a megújulóknak a fosszilis energiahordozókkal szembeni elvárt előnye. Nem jelenthető ki egyoldalúan, hogy a biomassa hasznosítása a fenntarthatóság regionális és lokális szintjén környezeti szempontból feltétlenül, minden esetben fenntartható.

Ezt támasztja alá a Magyarország Megújuló Energia Hasznosítási Cselekvési Terv háttér tanulmányának tekinthető, Pálvölgyi és társai által szerkesztett műhelytanulmány (2011), miszerint alapvető bizonytalanságot jelent a biomassa alapú energiatermelés életciklus-szemléletű energiamérlegének kérdése. Ezzel összefüggésben Egri (2014) az erőművek emisszió mérése mellett a szállítás károsanyag-kibocsátás szén-dioxid mérlegre gyakorolt hatásának elemzését szorgalmazza. Pálvölgyi által idézett Barótfi szerint a tüzelőanyagot az erőműtől legfeljebb 20-40 km távolságból kívánatos beszállítani a fenntartható zöldáram termelés céljából (Barótfi, 2009 - idézi: Pálvölgyi et al. szerk., 2011, 63).

Az említett műhelytanulmány prioritási listája alapján a feltételeken megújuló energiahordozók közül a negyedik helyre sorolt fás szárú energetikai ültetvények hasznosítása környezeti szempontból hátrányosnak tekinthető. Az utolsó helyre sorolt tűzifa erőművi felhasználása a legkedvezőtlenebb, mégis ez az alapanyag adja a megújuló villamosenergia-termelés döntő részét.

Udovecz (2014) szerint a természeti erőforrások megőrzése mellett a világelelmezés problémájára és az energiaszükséglet egyidejű kielégítésére nincs a többség által elfogadható megoldás. Egy egységes szempontrendszer felállítása után a komplex feltételeknek legjobban megfelelő hasznosítási forgatókönyv kiválasztásában megoldást jelenthet a modellszámítások alkalmazása (Nádudvari, 2009). A kalkulációban segítséget jelenthet a megvalósult projektek fenntarthatósági értékelése, amelyen keresztül átfogó kép alkotható a fenntartható hasznosítási formákról.

A biomassa energetikai célú hasznosítása gazdasági-környezeti szempontokon túl a fenntarthatóság társadalmi területén belül a vidékfejlesztési stratégia meghatározó eleme is. A fenntarthatóság társadalmi területével összefüggésben többen a biomassa-hasznosítás munkahelyteremtő hatását hangsúlyozzák. A szakképzett munkaerő biztosításában az oktatási rendszer felelősségét emeli ki Farkas és Faragó (2012): a lokális munkaerőt igénylő mezőgazdasági jellegű munka - a fajlagos munkahelyteremtő statisztikák alapján - a képzetlen munkaerő számára jelenthet kiterjesztési lehetőséget, főleg az üzemanyag előállítás és feldolgozás területén. Ez abból a szempontból kiegészítésre szorul, hogy az energetikai ültetvények működtetésének gazdaságosságát alapvetően meghatározza a gépesítés színvonala, és a szezonális munkaműveletek inkább a rendelkezésre álló kapacitások magasabb szintű kihasználását szolgálhatják, mint az új munkahelyteremtést. Katona (2013, 7) a Nemzeti Energiastratégia feltétel- és hatásvizsgálata során arra a következtetésre jut, hogy a „hazai foglalkoztatási gondokon a megújuló energiaforrások kihasználása nem segít, mert az a technológiát birtokló és gyártó országoknak ad munkát”. Ez a „hagyományos” megújuló energiaforrások telepítés utáni alacsony fenntartási munkaigényével magyarázható.

## 4. A FÁS SZÁRÚ ENERGETIKAI ÜLTETVÉNYEK ENERGETIKAI CÉLÚ HASZNOSÍTÁSÁVAL KAPCSOLATOS KÉTELYEK

A fás szárú energetikai célú ültetvénylétesítés, az elsődleges biomassza termelése elsősorban a megújuló energiaforrások minél szélesebb körű használatára tett erőfeszítések egyik eredménye. A természetstechnológiát illetően elmondható, hogy a fás szárú energetikai ültetvények egy alapvetően extenzívnek mondható „erdő” művelési ág intenzív termesztési rendszerben történő működtetésére tett kísérlet, amely a gazdasági és a környezeti fenntarthatóság követelményrendszerének egyidejűleg próbál megfelelni. A folyamatosan növekvő, szinte korlátlanul mondható (villamos) energiaigényt egy termőhelyi és biológiai korláttal rendelkező rendszerrel igyekeznek részben kiszolgálni. A kiszámíthatatlanságot tovább növeli, hogy a fizikai igénynek tekinthető villamosenergia-igény biológiai alapú kiszolgálását az abiotikus és a biotikus tényezőknek való kitettség is kockáztatja. Ezt támasztja alá a szakirodalomban található, az ültetvényt alkotó fafajok széles sávban mozgó termésátlagai is: nyár 8,7-23 odt/ha/év, fűz 10-24 odt/ha/év, akác 6-20 odt/ha/év<sup>[1]</sup>.

Termesztési oldalról a magas, kiegyensúlyozott hozam (és a gazdasági fenntarthatóság) elérése érdekében az intenzív művelés indokolt. Ezzel a technológiával a hasznosításra szelektált szaporítóanyag magas biológiai potenciálja is magasabb szinten használható ki. Az energetikai ültetvény a mezőgazdasági növénytermesztésre alkalmatlan területekre ajánlott, de az intenzív művelésből következő többeltráfordítás, a szelektált szaporítóanyag biológiai potenciálja a termőhelyi adottságok, körülmények miatt nem feltétlenül hasznosul kellő hatékonysággal. Magas hozam az intenzív művelés mellett a mezőgazdasági növénytermesztésre alkalmas, jó termőképességű területen várható. Az ilyen, élelmiszertermelésre alkalmas területek hasznosítása környezeti-fenntarthatósági szempontból megkérdőjelezhető.

Az energetikai kalkulációkhoz elengedhetetlen befektetett energia pontos meghatározása kérdéses, főleg intenzív művelésnél, a műtrágya és a növényvédő szerek előállításához, szállításához felhasznált energia nehéz meghatározhatósága miatt.

A megtermelt energia mennyisége a termésátlag ingadozása következtében széles sávban mozog. A bizonytalanságot tovább növeli, hogy a betakarított faapríték víztartalma igen változó, ami a fűtőértéket befolyásolja. Az energetikai kalkulációk tovább nehezíti, hogy a szakirodalomban fellelhető, az energetikai kalkulációk alapjául szolgáló, egzaktnak tekinthető energetikai (fűtőérték) adatok között is jelentős különbség tapasztalható (Lukács 2009; 2011; Széll, 2007; L. Szabó, 2015).

[1] odt, atotonna: az abszolút száraz faanyag számított tömegének meghatározására használt mértékegység



A faapríték víztartalma nem csak a fűtőértékre, hanem a szállítás fajlagos költségére és a szén-dioxid kibocsátására is hatással van. A termelés során jelentkező esetleges kedvező energiamérleg a magas víztartalommal történő hasznosítás, szállítás következtében romolhat.

A befektetett és a megtermelt energiamennyiség kalkulációja körüli széles értékhatárokból fakadó bizonytalanság okán az energiamérleggel kapcsolatban nem lehet egyértelmű arányszámokat megállapítani, csak az összefüggéseket vizsgálni. A hozam ingadozása és a kalkulációhoz felhasználható fűtőértékek közti különbség meghatározó az energiahányados értékének megállapításában is.

A használatos energetikai mutatószámok, az energiahányados, a befektetett és a megtermelt energia különbsége ugyan konkrét esetekben megbecsülhető, de az egész ágazat primer biomassza energiatermelésére nem lehet a környezeti fenntarthatósággal kapcsolatos általános érvényű következtetéseket levonni. Hajdú 50 km szállítási távolságra kalkulált energiaegyenleggel kapcsolatos kutatási eredményei szerint is nagy szórást mutat az energia input-output hányados (Hajdú, 2009 – idézi: Vágvölgyi, 2013). Fafajtól és termőterülettől függően az értékek 2,3 és 18,5 között helyezkednek el (1. táblázat).

1. táblázat: Fás szárú energetikai ültetvények energiahozama  
Table 1 Energy yield of the SRC plantation's

	Kiváló területen			Kedvezőtlen területen		
	Akác	Nyár	Fűz	Akác	Nyár	Fűz
energia output/input hányados intenzív művelésénél	6,8	9,7	10,1	2,3	3,2	3,1
Energia output/input hányados extenzív művelésnél	13	17,8	18,5	4,7	6,2	6,1

Forrás: Hajdú, 2009 – idézi: Vágvölgyi, 2013, 49.

A számadatok tükrében kijelenthető, hogy az energiahányados inkább a vizsgált ültetvényen történő gazdálkodás hatékonyságát mutatja be az egységnyi befektetett energiára jutó megtermelt energia mennyiségével. Az égetéses, erőművi villamosenergia-termelés konverziós hatásfoka miatt legalább négyszeres energiahányados szükséges. Elmondható, hogy ez az érték a kedvező, élelmiszertermelésre alkalmas területeken érhető el nagy biztonsággal. Erre a következtetésre jut Kohlheb (2005) is: amíg a legkedvezőbb energia-kihozatali arányok általában a jó termőhelyeken, extenzív körülmények között adódnak, addig a legnagyobb energia outputok a jó termőhelyeken intenzív termesztési technológiák mellett érhetők el.

A biológiai produktivitásnak köszönhetően a biomassza termelése során a befektetett energia többszöröse térül meg, amiből a hasznosítás során valamennyi felhasználásra kerül. A biomassza égése során keletkező, a későbbiekben hasznosítható energia mennyisége több kell, hogy legyen, mint az alapanyag előállításához, manipuláláshoz felhasznált fosszilis energia mennyisége.

Mivel a biomassza feltételesen megújuló energiaforrás, minden évben újabb fosszilis energia felhasználására van szükség a biomassza előállítására. Feltételesen megújuló energiaforrásként az évenként jelentkező ráfordítás megtérülése a termelés kiszámíthatatlansága miatt mind pénzügyi, mind energetikai szempontból nehezen tervezhetővé teszi az ágazatot.

## 5. ÖSSZEGLÉS

A fás szárú ültetvények létesítése, energetikai célú hasznosítása a megújuló energiaforrások minél szélesebb körű használatára, a fenntarthatóság elérése érdekében tett erőfeszítések egyik eredménye. A nemes cél érdekében tett lépések, a megújuló energiaforrások használata azonban nem jelenti magától értendően azt, hogy az fenntartható, ez indokolja a komplex vizsgálat szükségességét.

A biomassza termelés kiszámíthatatlansága miatt a feltételesen megújuló biomassza-előállításban, és a használatukkal elérhető környezeti-gazdasági-társadalmi előny mértékében bizonytalanság tapasztalható. Nem jelenthető ki általánosságban, hogy a fás szárú energetikai ültetvények energetikai hasznosítása minden esetben megfelel a fenntarthatóság elvárásainak. Számos művelési ág, hasznosítási mód versenyez az ültetvénytelepítésre is alkalmas termőterületért, miközben a fás szárú energetikai ültetvényeken megtermelt biomassza felhasználásával elérhető környezeti előny mértéke a termőföldhöz kevésbé köthető, tervezhetőbb megújuló energiaforrás alkalmazásával is elérhető.

Az egymás alternatívájának tekinthető technológiák közül az adott térségnek legmegfelelőbb változat kiválasztásához egy átfogó, objektív összehasonlítási módszer és szempontrendszer szükséges. Ebben a folyamatban a pénzügyi elemzések mellett a már megvalósult beruházások fenntarthatósági kiértékelése is indokolt. A környezeti fenntarthatóság oldaláról a termékpályát átfogó ökológiai lábnyom kalkuláció adhat támpontot. A gyakorlati tapasztalatokon alapuló modellekkel megállapítható a megújuló energiaforrások hasznosítási módjaival ténylegesen elérhető környezeti-gazdasági-társadalmi előny. Ez a korábbi támogatási, beruházási döntések felülvizsgálatánál és az újak meghozatalánál szolgálhat kiindulópontul, illetve hatékony eszköz a változó természeti-gazdasági környezethez történő alkalmazkodásban.

A biomassza, mint feltételesen megújuló energiaforrás része az energiának. Ugyanakkor energetikai ültetvényeken előállított biomasszára alapozott villamosenergia-termelés helyett a hatékonyabb hőhasznosítás ajánlott, az alacsony energiasűrűsége miatt főleg kistérségi szinten.

## IRODALOMJEGYZÉK

- Barótfi I. (2009) <http://zoldtech.hu/cikkek/20090817-biomassza-interju?h=1>
- Barta-Juhász I. L. (2014) Zöld áram termelési költségének csökkentési lehetőségei a hulladékhő hasznosításával. *Agrártudományi Közlemények*, 58, 15–20.
- Bloomberg, New Energy Finance – The Business Council for Sustainable Energy (2017) *Sustainable Energy in America, 2017 Factbook*.
- Dinica, V. (2006) Support systems for the diffusion of renewable energy technologies – an investor perspective. *Energy Policy*, 34, pp. 461–480.
- Dinya L. (2010) A biomassza-alapú energiatermelés és fenntartható energiagazdálkodás. *Magyar Tudomány*, 171, 8, 912–925.
- Dinya L. (2011) Változó klíma, természet és az innovációs kihívások. *Gazdálkodás*, 55, 6, 557–565.
- Egri J. (2014) Szilárd biomassza energetikai hasznosíthatóságának vizsgálata a Tiszai Erőmű telephelyén. *Energiagazdálkodás*, 55, 1, 26–29.
- Ehrlich, P. R.–Holdren, A. H. (1971) Impact of Population Growth. *Science*, 171, 3977, pp. 1212–1217.
- Engelman, R. (2013) A fenntarthatósági blablán túl. In: *A Világ helyzete 2013 – Van még esély a fenntarthatóságra?* Föld Napja Alapítvány, Budapest. 19–32.
- Erdősi F. (2011) Fenntarthatóság és klímaváltozás. In: Mezei C.–Bakucz M. (szerk.): *Agrárátalakulás, környezeti változások és regionális fejlődés. Tanulmányok Buday-Sántha Attila 70. születésnapjára*. Pécsi Tudományegyetem Közgazdaságtudományi Kar, Pécs. 360–375.
- Farkas Á.–Faragó P. (2012) Az energiacélú biomassza hasznosítás foglalkoztatási piacáról interdiszciplináris megközelítésben. *Valóság*, 55, 9, 21–33.
- FNA – Föld Napja Alapítvány (2018) *Ökolábnyom-számláló* <http://www.fna.hu/mittehetsz/okolabnyom> Letöltve: 2018.09.24.
- Fodor B. E. (2012) *A megújuló energia térnyerésének ösztönzési lehetőségei. A hazai kötelező átvételi rendszer értékelése*. Doktori értekezés, Budapesti Corvinus Egyetem Gazdálkodástani Doktori Iskola, Budapest.
- FS-UNEP - Frankfurt School-UNEP Centre/BNEF (2017) *Global Trends in Renewable Energy Investment 2017*.
- Futó Z. (2014) A szántóföldi növénytermesztés szerepe a bioenergia gazdálkodásban. In: Takácsné György K. (szerk.) *Az átalakuló, alkalmazkodó mezőgazdaság és vidék: tanulmányok: XIV. Nemzetközi Tudományos Napok: Gyöngyös, 2014. március 27-28.* Károly Róbert Főiskola, Gyöngyös. 529–538.
- Genté, R. (2013) *A palagáz felborítja a geopolitikát*. Le Monde Diplomatique, <http://www.magyardiplo.hu/1315-a-palagaz-felboritja-a-geopolitikat> Letöltve: 2018. 09. 24.
- Gergely S. (2007) Zöldenergia és vidékfejlesztés. *Gazdálkodás*, 51, 20. különia, 24–41.
- Gyulai I. (2012) *A fenntartható fejlődés*. Ökológiai Intézet a Fenntartható Fejlődésért Alapítvány, Miskolc
- Hágen I. Zs.–Magyary I. (2008) A biobrikett mezőgazdasági előállításának és felhasználásának lehetőségei. *Gazdálkodás*, 52, 1, 83–86.
- Hajdú J. (2009) *A szilárd biomassza hőenergetikai hasznosítása*. OBEKK Tudományos Szakmai Kiadványok sorozat (10/12), Szent István Egyetem Kiadó, Gödöllő.

- IEA – International Energy Agency (2016) *World Energy Outlook 2016*.
- Katona T. J. (2013) Észrevételek a Nemzeti Energiastratégiához. *Energiagazdálkodás*, 54, 1-2, 5-8.
- Kohleb N. (2005) Energiaültetvények gazdasági jellemzői. In: *Új utak a mezőgazdaságban. Az energetikai célú növénytermesztés lehetősége az Alföldön*. Energiaklub Környezetvédelmi Egyesület, Budapest. 44-54.
- L. Szabó G. (2015) *Tüzeléstechnika, tüzelőanyagok jellemzése*. Előadás, Debreceni Egyetem Műszaki Kar Épületgépészeti és Létesítménymérnöki Tanszék <http://slideplayer.hu/slide/2942873/#> Letöltve: 2018. 01. 15.
- Láng I.-Kerekes S. (2013) Megalakult a Túlélés Szellemi Kör. *Magyar Tudomány*, 174, 1, 103-112.
- Lányi A. (2013) Morális klímaváltozás. *Magyar Tudomány*, 7, 820-830.
- Lengyel I. (2011) Fenntarthatóság és alulról szerveződő fejlesztési stratégiák. In: Mezei C.- Bakucz M. (szerk.): *Agrárátalakulás, környezeti változások és regionális fejlődés. Tanulmányok Buday-Sántha Attila 70. születésnapjára*. Pécsi Tudományegyetem Közgazdaságtudományi Kar, Pécs. 321-326.
- Lukács G. S. (2009) *Zöldenergia, mint a kedvezőtlen termőhelyű térségek kitérésének lehetősége*. Szaktudás Kiadó Ház, Budapest.
- Lukács G. S. (2011) *Gazdaságos zöldenergia*. Szaktudás Kiadó Ház, Budapest.
- Magda S. (2007) Bioenergia-hasznosítás és -szaktanácsadás. *Mag, kutatás, fejlesztés és környezet*, 21, 1, 5-8.
- Nádasy K. B.-Kerekes S.-Luda Sz. (2012) A termék-szolgáltatás rendszerek szerepe a fenntartható fogyasztásban. In: Kerekes S.-Szirmai V.-Székely M. (szerk.): *A fenntartható fogyasztás környezeti dimenziói*. Aula Kiadó, Budapest. 17-44.
- Nádudvari Z. (2009) A biomassza az EU megújuló energiaforrásokra elfogadott stratégiájában. *Műszaki információ, Környezetvédelem*, 4, 3-23.
- Nádudvari Z. (2011) A biomassza hatékony alkalmazása a németországi energiatermelésen. *Műszaki információ, Környezetvédelem*, 9, 14-29.
- Pálvölgyi T.-Csete M.-Harazin P.-Szendrő G. (szerk.) (2011) *A természeti erőforrások fenntartása*. Műhelytanulmányok 3. (A Nemzeti Fenntartható Fejlődés Tanács felkérésére). Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem és Env-in-Cent Kft., Budapest.
- Popp J.-Potori N. (2011) *A biomassza energetikai célú termelése Magyarországon*. Agrárgazdasági könyvek, Agrárgazdasági Kutató Intézet, Budapest
- REN21 – Renewable Energy Policy Network for the 21th Century (2017) *Advancing the Global Renewable Energy Transition*. Highlights of the REN21 Renewables 2017 Global Status Report in perspective.
- Schultz Gy. (2005) Energiaellátás, energiatakarékosság világszerte. Az energiagazdálkodás alapjai. *BME OMMIK*, 44, 4, 5-13.
- Sinóros-Szabó B.-Koncz G. (2012) *Biodízelgyártás*. Digitális Tankönyvtár, Károly Róbert Főiskola, Gyöngyös.
- Széll A. (2007) *Emissziós vizsgálatok használt forgácslapra - az égetés környezeti szempontú értékelése*. Doktori értekezés, Nyugat-Magyarországi Egyetem Kitaibel Pál Környezettudományi Doktori Iskola, Sopron.
- Szlávik J. (2013) *Fenntartható gazdálkodás*. Wolters Kluwer Complex Kiadó, Budapest.
- Szlávik J. (2014) Lépések a fenntartható gazdálkodás irányába. Gondolatok Láng István és Kerekes Sándor Megalakult a Túlélés Szellemi Kör című vitairatához. *Magyar Tudomány*, 175, 1, 99-108.

- Taralik K. (2007) Biohajtóanyagok helyzete Magyarországon. *Gazdálkodás*, 51, 6, 54–62.
- Tóth G. (2013) Búvópatak I. *Lépések... a fenntarthatóság felé, szaklap*, 18, 2, 1, 4–5.
- Udovecz G. (2014) Adalékok a magyar mezőgazdaság minősítéséhez. In: Takácsné György K. (szerk.) *Az átalakuló, alkalmazkodó mezőgazdaság és vidék: tanulmányok: XIV. Nemzetközi Tudományos Napok: Gyöngyös, 2014. március 27-28.* Károly Róbert Főiskola, Gyöngyös. 1523–1539.
- Vágvölgyi A. (2013) *Fás szárú energetikai ültetvények helyzete Magyarországon napjainkig; üzemeltetésük, hasznosításuk alternatívái.* Doktori értekezés, Nyugat-Magyarországi Egyetem Kitaibel Pál Környezettudományi Doktori Iskola, Sopron.
- Vida A.-Baksa A. (2009) A bioüzemanyagok használatával járó várható földhasználati változások Magyarországon. *Gazdálkodás*, 53, 1, 65–77.
- Wackernagel, M.-Rees, W. (1996) *Our Ecological Footprint. Reducing Human Impact on the Earth.* The New Catalyst, Bioregional Series. New Society Publishers, Gabriola Island, Canada.