

Rövid vágásfordulójú fűz (*Salix sp.*) energiaültetvény termesztésének tapasztalatai és élelciklus-elemzésének eredményei

GYURICZA CSABA-HEGYESI JÓZSEF-KOHLHEB NORBERT
Szent István Egyetem, Gödöllő

Összefoglalás

A megújuló energiaforrások felhasználásának növekedésével hazánkban is egyre nagyobb szükség lesz a biomasszára, mint energiahordozóra. Fontos, hogy a tűzifa mellett egyre inkább a kevésbé értékes szántóföldi területeken is termelhessünk energetikai alapanyagot fás szárú ültetvényekkel. Ez egyrészt előmozdíthatja a mezőgazdasági termelők több lábón állását, jövedelemforrásaik diverzifikációját, másrészt a fás szárú energiaültetvényeknek fontos környezetvédelmi aspektusai is vannak, mint például a talajvédelem, vagy a széndioxid megkötése. E környezetvédelmi hatások számszerűsítésére vállalkoztunk ebben a tanulmányunkban, amelyet a GaBi4 élelciklus elemző szoftver Ecoinvent 2.2 adatbázissal végeztünk el. A számítások alapjául a Szent István Egyetem energiafűz kísérleteinek eredményei szolgáltak, amelyek szerint az ültetvény két éves vágásforduló esetén 40 t/ha 49,5%-os nedvességtartalmú hozamot produkál 50 kg/ha/N műtrágyázás és 12 éves élettartam mellett.

Az ültetvény környezeti hatásait a dugvány előállításától az apríték alapanyag a felhasználás helyére történő szállításáig vizsgáltuk 50, 100 és 150 km-es szállítási távolságok esetén. A környezeti hatásokat az üvegházgáz kibocsátási mérlegen, az energia input-output hányadoson és a savasodási potenciálon keresztül kívántuk megjeleníteni. Ezen eredményeket hasonlítottuk össze a kukorica és a búza ugyanezen mutatóival.

A területhasználat összehasonlíthatósága érdekében eredményeinket egy hektárra vonatkoztattuk. A kukorica és búza termesztésekor hektáronként évente 7101 kg, illetve 4697 kg CO₂ nyelődik el, míg a két éves vágásfordulójú fűz esetében ugyanez az érték 17 093 kg CO₂. Az egy hektárra vetített savasodási potenciál a kukorica esetében 48,43 kg SO₂ egyenérték, a búzánál 27,73 kg SO₂ egyenérték, a fűz esetében pedig mindössze

11 kg SO₂ egyenérték kibocsátást jelent. Az eredmények alapján megállapítható, hogy a fűz energiaültetvény mérhetően kedvezőbb környezeti hatásokkal bír, mint a hagyományos szántóföldi növények közül a vizsgálat tárgyát képező búza és a kukorica.

Kulcsszavak: energiafűz, biomassa, szén-dioxid, életciklus-elemzés

Experience of energy willow (*Salix sp.*) production in short rotation coppice (SRC) experiment and results of life cycle analysis (LCA)

CS. GYURICZA–J. HEGYESI–N. KOHLHEB

Szent István University, Gödöllő

Summary

Due to the continuously increasing utilisation of renewable energy sources, the need for biomass as an energy source is going to increase in Hungary in the future. It is important to produce feedstock for energetic purposes from woody biomass plantations in less valuable areas in addition to firewood. On the one hand, farmers' financial stability could be enhanced through the diversification of their income sources and woody energy plantations have significant environmental protection effects, such as the protection of the soil or CO₂ assimilation on the other. This study aims to quantify these environmental protection effects with the help of the GaBi4 life cycle assessment software and the Ecoinvent 2.2 life cycle inventory database. Calculations are based on the results of the short rotation coppice (SRC) willow energy plantation experiments conducted by the Szent István University. These experiments revealed that 40 t ha⁻¹ biomass with a moisture content of 49.5% can be produced in the case of the 2-year-long harvest cycles by applying a 50 kg/ha/harvest cycle nitrogen dose during the 12-year-long lifespan of the plantation.

The environmental effects of the plantation were calculated from the production of the scion until the transport of the woodchips to the site of utilisation by using transportation distances of 50, 100 and 150 km. In order to assess environmental effects, global warming potential, the ratio of energy input and output and acidification potential were analysed. The quantitative results of these indicators were compared to the same indices of maize and wheat production.

In order to make it possible to compare different land use patterns, all results refer to 1 hectare. During the production of maize and wheat, 7101 kg CO₂ and 4697 kg CO₂ is absorbed per hectare every year, while in the case of the SRC willow energy plantation in 2 years harvest cycles, this value is 17 093 kg CO₂ ha⁻¹ year⁻¹. The acidification potential reaches 48.43 kg SO₂ equivalent ha⁻¹ in the case of maize production, it is 27.73 kg SO₂ equivalent ha⁻¹ during wheat production, while in the case of SRC willow energy plantations it is only 11 kg SO₂ equivalent ha⁻¹. According to the results, it can be stated that SRC willow energy plantations have more favourable environmental effects in the case of the analysed indices than the production of the two most important conventional arable crops (wheat and maize).

Key words: energy willow, biomass, carbon-dioxide, life cycle analysis

Опыт выращивания энергетических насаждений ивы (*Salix sp.*) короткого цикла рубки и результаты анализа их жизненного цикла

Ч. ДЬЮРИЦА–Ё. ХЕДЬЕШИ–Н. КОХЛЕБ
Университет Святого Иштвана, Гёдёллэ

Резюме

С ростом использования источников возобновляемой энергии в Венгрии также будет всё больше потребность в биомассе, как носителя энергии. Важно, чтобы наряду с выращиваемыми на дрова деревьями на менее ценных пахотных территориях также могли выращивать как энергетическое сырьё растения с древесными стволами. Это с одной стороны, может способствовать диверсификации сельскохозяйственного производства, источников доходов сельских производителей, с другой стороны, древесные энергетические насаждения имеют важные экологические аспекты, например, защита почвы или связывание углекислого газа. В данном исследовании мы попытались выразить в цифрах эти экологические влияния, что проделали софтвером анализа жизненного цикла GaBi4 и базой данных Ecoinvent 2.2. Основой для вычислений служили результаты опытов выращивания энергетической ивы в Университете Святого Иштвана, согласно которым насаждение в слу-

чае двухгодичного цикла рубки производит урожай 40 t/ha с 49,5% содержанием влаги при внесении 50 kg/ha/N искусственного удобрения и 12-летней продолжительности жизни.

Экологические влияния насаждения исследовали от производства черенков до транспортировки размельчённого сырья до места использования на расстояние 50, 100 и 150 km. Влияния на окружающую среду мы хотели показать на балансе выпуска парникового газа, на соотношении input-output энергии и на окислительном потенциале. Эти результаты сравнили на одинаковых показателях кукурузы и пшеницы.

В интересах сравнения использования территории наши результаты относятся к одному гектару. При выращивании кукурузы и пшеницы по-гектарно ежегодно поглощается 7101 kg, и 4697 kg CO₂, а в случае выращивания ивы с двухгодовым циклом рубки этот показатель 17 093 kg CO₂. Относящийся к одному гектару окислительный потенциал в случае кукурузы эквивалентен выпуску 48,43 kg SO₂, у пшеницы эквивалентен выпуску 27,73 kg SO₂, а в случае ивы эквивалентен выпуску только 11 kg SO₂. На основании результатов можно установить, что энергетическое насаждение ивы измеряемо обладает более благоприятными экологическими влияниями, чем представляющие предмет исследования традиционные пахотные растения пшеница и кукуруза.

Ключевые слова: энергетическая ива, биомасса, углекислый газ, анализ жизненного цикла

Bevezetés és irodalmi áttekintés

A megújuló energiaforrások hasznosítása egyre kevésbé kerülhető meg. Napjainkra a biomasszából történő bioenergia előállítás és hasznosítás stratégiai kérdéssé vált. Európa és a világ egyaránt energiahiánnyal küzd, a készletenergiákra alapozott rendszerek fogyóban vannak, miközben az energiaigény világszerte (a társadalmi és gazdasági fejlettségtől függően) tendenciózusan növekszik. Magyarországon elsősorban ökológiai adottságaink, nemzetgazdasági érdekeink és az Európai Unió elvárásai miatt kormányzati szinten is foglalkozni kell a megújuló energiaforrások szabályozási kérdéseivel. A megújuló energiaforrások mellett, hogy többségükben környezetbarát energiaforrást jelentenek, sok egyéb más a gazdaság szempontjából kiemelkedően fontos járulékos hatást is magukkal hoznak. Ilyen például a munkahelyteremtés, az ener-

giafüggőség és az energiabiztonság kérdése is (Kohlheb *et al.* 2010). Magyarországon egyelőre a biomassza energetikai hasznosítása terjedt el leginkább, amelynek részesedése már jelenleg is 80% fölött van a megújuló energiaforrásokon belül (Varga és Homonnai 2009). A Nemzeti Cselekvési Terv (NCsT) biomasszából mintegy 52 PJ energiatermelést vetít előre 2020-ra. Ezen belül jelentős növekedés várható a biomasszából származó villamos energia termelésében is, amely 2000 GWh-ról 3218 GWh-ra nő majd (NCsT 2010).

A fenti hasznosítási célkitűzések mögött elsősorban erőművi tüzelés áll, amelynek tűzifával való ellátása a tűzifaigény további növekedése mellett egyre nehezebben lesz megoldható. A rendelkezésünkre álló erőforrások hatékony hasznosításának oldaláról is problémás ez a típusú hasznosítás, hiszen a bemenő energiának többnyire csak töredékét (20–30%) hasznosítja. Ezért hosszú távon mindenképpen átgondolandó ennek a technológiának a létjogosultsága Magyarországon. A fentiek miatt elengedhetetlen olyan természetstechnológiák szántóföldi bevezetése, amelyek többlet kínálatot képesek teremteni a tűzifa és az faapríték piacán (Cambell *et al.* 1983). Annál is égetőbb kérdés az alternatív termelési lehetőségek kimunkálása, hiszen a jelenlegi lekötött erőművi tűzifakereslet olyan fenntarthatóbb közösségi hasznosítások elől veszi el a fejlődés lehetőségét, mint pl. a közösségi fűtő-, illetve kiserőmű, vagy a hatékony lakossági biomassza tüzelési rendszerek.

Magyarország területének mintegy felén, kb. 4,5 millió hektáron folyik szántóföldi növénytermesztés. Több százezer hektárra tehető azon szántóterületek nagysága, ahol a jelenlegi támogatási rendszer mellett is nehezen garantálható a jövedelmezőség hagyományos növényekkel (Barczy *et al.* 2006). Ezek a gyakran vízjárta, belvíz kialakulására hajlamos területek, továbbá a kis termőhelyi értékszámú, szélsőséges víz- és tápanyag-gazdálkodású, többnyire homok vagy homokos vályog fizikai féleségű talajok. Mivel ezek a termőhelyek általában a társadalmilag és gazdaságilag egyaránt elmaradottabb térségekben találhatóak, ezért a jövőben is alapvető szerepe lesz a mezőgazdaságnak, és a termelésből való kivonás, vagy művelési ág váltás (pl. szántóról gyepre, vagy erdőre) sem jelenthet megoldást (Dobó *et al.* 2006).

A fás szárú energetikai ültetvények létesítése a vidék népességének megőrzése és a lakosság számára jövedelmező mezőgazdasági ág lehet a jövőben. Általánosságban érvényes a megállapítás, hogy hazánkban valamennyi mezőgazdasági művelésre használt talaj megfelelő valamely gyorsnövésű fafaj termesztésére (Gyuricza 2007). Mivel e fafajok (pl. *Populus sp.*, *Salix sp.*) többnyire a kedve-

zőtlen termőhelyi adottságokat is elviselik, ezért olyan belvizes, illetve ártéri területeken is telepíthetők, ahol más mezőgazdasági növények már nem élnek meg. Egyes növények (pl. *Robinia sp.*) pedig kifejezetten száraz, aszályra hajló körülmények között is biztonsággal termeszthetők. Magyarország szántóterületének mintegy 60%-a erózióra vagy deflációra hajlamos, ezeken a területeken rövid vágásfordulójú ültetvények telepítésével kiváló a talajvédő hatás, mivel csaknem egész éves talajfedettség érhető el (Farkas et al. 2005). Több szerző felhívja azonban arra a figyelmet, hogy a biomassa szántóföldi előállításának csak akkor lehet létjogosultsága, ha olyan technológiákat alkalmazunk, amelyek környezeti és fenntarthatósági szempontból egyaránt megfelelnek az elvárásoknak.

A környezeti hatás elemzésére az életciklus-elemzés (LCA) lehet alkalmas, amely valamennyi biomassa-előállítási és -felhasználási módszerre vonatkozóan pontos becslést ad a károsanyag-kibocsátásra, valamint az energiamérlegre vonatkozóan (Heller et al. 2003).

Tanulmányunkban a fás szárú fűz energiaültetvények egy bizonyos termesztéstechnológiájának környezeti hatásait kívánjuk bemutatni összehasonlítva más hagyományos szántóföldi kultúrák környezeti hatásaival. Írásunk első részében a termelési kísérlet körülményeit és eredményeit a második részben pedig az életciklus-elemzés módszertanát és eredményeit mutatjuk be.

A termesztés körülményeinek és eredményeinek ismertetése

Termesztéstechnológiai kísérlet

A vizsgálatok alapját képező kísérletet a Szent István Egyetem Növénytermesztési és Biomassa-hasznosítási Bemutató Központjában állítottuk be 2007-ben. A kísérleti tábla talaja a magyarországi genetikus talajosztályozás szerint főként homokon kialakult rozsdabarna erdőtalaj. A harmadkori homok és márga alapkőzetten kialakult rozsdabarna erdőtalaj altípus a Ramann-féle barna erdőtalaj talajtípusba tartozik. A degradációs folyamatok következtében közepes termőrétegű, gyengén humuszos változat alakult ki. A terület erózió veszélyeztetett és a művelés szempontjából fontos, hogy tömörödéssre érzékeny.

A kísérlet kéttényezős véletlenblokk elrendezésű három ismétlésben. A kísérletben öt különböző fűz fajtát, illetve klónt (Sven, Inger, Tordis, Tora, Csala)

alkalmaztunk. Valamennyi fajta esetében három különböző tápanyag-ellátottsági szintet állítottunk be: 1: felszintakarás komposzttal (50 t/ha); 2: nitrogén műtrágya tavasszal (50 kg/ha); 3: tápanyag nélküli kontrollkezelés; azonban elemzésünkben csak a nitrogén műtrágyával kezelt állomány eredményeit vesszük figyelembe. A komposzt és a műtrágya kijuttatása május elején a sorokba történt. Az alkalmazott technológia ikersoros, a sortávolság 70 cm, az ikersorok között 2,5 m távolságot hagytunk, ami a gépi munkákat könnyíti meg. A sorokon belül a dugványokat 40 cm tőtávolságra telepítettük. Dugványozás céljára 25 cm hosszúságú, egyéves, gyökér nélküli hajtásrészeket használtunk fel. A telepítés kézzel történt április közepén. A vegetációs időszak során kémiai gyomszabályozást végeztünk a sorokban, a sorközökben talajmaróval, két alkalommal történt mechanikai gyomszabályozás. A kártevők és kórokozók elleni kémiai védekezésre nem volt szükség.

A vegetációs időszak folyamán a kísérletben fenológiai méréseket (növénymagasság, oldalelágazódások száma, hajtásvastagság, biomasszatömeg), valamint talajállapot vizsgálatokat (talajjellenállás, talajnedvesség, tápanyag- és nehézfém-tartalom) végeztünk. Statisztikai értékelésre egytényezős varianciaanalízist alkalmaztunk (*Baráthné et al.* 1996).

Fenológiai eredmények

Az 1. táblázat az energiafűz fajták fenológiai eredményeit mutatja közvetlenül az első betakarítás előtt mindhárom tápanyag-ellátottsági szinten. A betakarítás során a kétéves növekményt vágtuk le. Ez azt jelenti, hogy az első betakarításra a kísérlet beállítását követő harmadik évben került sor, ugyanis a telepítés évében a bokornövekedésű fűzek jellemzően kis növekedési erélyűek, a várható biomassza tömeg 2–3 t/ha (*Mola-Yudego és Aronsson* 2008). Az első vegetációs időszak utáni visszavágás a második évtől intenzív sarjképzésre készíteti a növényeket, a kísérletben alkalmazott svéd klónok esetében 10–18 db hajtás képződik, amelyekből a második évre 6–8 db erőteljes növekedésű hajtás marad, míg a többi vessző visszafejlődik, esetenként elhal (*Begley et al.* 2008). A Csala fajta esetében eltérő a fejlődés üteme: statisztikailag igazolhatóan több hajtást (15–16 db) fejleszt a növény, azonban ezek 40–52%-kal vékonyabbak és rövidebbek, mint a svéd fajták. Valamennyi fajta és növénytáplálási kezelés esetében a növény magassági növekedése volt jelentős, a második évre elért végleges magasság 80–85%-a az első évben alakult ki. A második évben kevésbé a

növények magassági növekedése volt megfigyelhető, sokkal inkább jellemző a hajtások megvastagodása.

1. táblázat. *Fenológiai paraméterek alakulása különböző fűz fajtáknál eltérő növénytáplálási módok esetén két év fejlődés után (Gödöllő, 2010. február 25.)*

Fajta (1)	Hajtásszám (db/növény) (2)			Hajtásátmérő (mm) (3)			Növénymagasság (cm) (4)		
	Ø	M	K	Ø	M	K	Ø	M	K
	Csala	15,6	15,7	15,9	16,6	17,1	16,6	316	333
Tora	6,8	8,2	7,2	24,5	26,4	26,3	489	509	499
Tordis	6,0	6,8	6,8	26,1	26,6	24,7	515	540	513
Inger	6,8	7,6	7,0	26,5	28,0	26,2	547	555	492
Sven	15,6	7,0	7,0	24,7	24,0	23,9	470	501	456
SzD _{5%} fajta (5)	0,63			2,85			40,05		
SzD _{5%} tápanyag (6)	nsz			nsz			nsz		
Kölcsönhatás (7)	nsz			nsz			nsz		

Jelmagyarázat: Ø=kontroll; M=nitrogén műtrágya, 50 kg/ha hatóanyag; K=komposzt, 40 t/ha.

Table 1. Phenologic parameters of willow varieties at different nutrient levels after two years of growing (Gödöllő, 25th February 2010). (1) Variety, (2) Shoot number, (3) Shoot diameter, (4) Plant height, (5) LSD_{5%} variety, (6) LSD_{5%} nutrient, (7) Interaction. Legend: Ø=control; M=nitrogen fertiliser, 50 kg ha⁻¹ active ingredient; K=compost, 40 t ha⁻¹.

Az első betakarítás során mért frisstömeget és száraztömeget a 2. táblázat mutatja. Az adatok értékelése során tekintettel kell lenni arra, hogy a tőszám a Csala esetében 60 000 db növény/ha, ugyanakkor a többi fajtánál 12 000 db/ha. A telepített tőszám közötti jelentős különbséget a fajták eltérő növekedési erélye magyarázza. A szárazanyagban kifejezett biomassa mennyisége az Inger fajtánál a műtrágyázott és a komposztkezelésben volt a legnagyobb, a többi fajta és növénytáplálási kezelés eredménye szignifikánsan kisebb biomassa mennyiséget eredményezett. A betakarított biomassa nedvességtartalma 46,7–54,7% között volt, ebben a tekintetben sokkal inkább a fajtának, mint a növénytáplálásnak van jelentősége. A legnagyobb nedvességtartalmat a Csala aprítékában mértünk a betakarítás után. A sok és vékony hajtás esetében a kéreg aránya nagyobb, mint a többi fajtánál, ennek következtében a nedvességtartalom valamennyi növénytáplálási szinten nagyobb volt.

2. táblázat. A biomassza tömeg és a nedvességtartalom alakulása különböző fűz fajtáknál eltérő növénytáplálási módok esetén – első betakarítás két éves vágásfordulóval (Gödöllő, 2010. február 25.)

Fajta (1)	Frisstömeg (t/ha)			Száranyag (t/ha)			Nedvességtartalom (%)		
	(2)			(3)			(4)		
	Ø	M	K	Ø	M	K	Ø	M	K
Csala	39,1	46,6	44,0	17,7	21,9	20,5	54,7	52,9	53,4
Tora	42,0	54,4	42,9	19,9	28,0	20,9	52,7	48,5	51,5
Tordis	34,4	53,1	31,4	18,3	27,8	15,6	46,7	47,7	50,3
Inger	40,4	54,5	49,7	20,9	28,3	25,2	48,1	48,1	49,3
Sven	37,0	45,6	35,1	18,9	22,8	17,5	48,7	50,0	50,0
SzD _{5%} fajta (5)	5,71			2,84			1,73		
SzD _{5%} tápanyag (6)	7,94			4,61			nsz		
Kölcsönhatás (7)	nsz			nsz			nsz		

Az LCA kalkulációkban a kétéves vágásforduló technológiát vizsgáltuk 40 t/ha kétévenkénti átlagos hozammal 49,5%-os betakarításkori nedvességtartalom mellett.

Jelmagyarázat: Ø=kontroll; M=nitrogén műtrágya, 50 kg/ha hatóanyag; K=komposzt, 40 t/ha.

Table 2. Biomass and moisture content of willow varieties at different nutrient levels - first harvesting after two years (Gödöllő, 25th February 2010). (1) Variety, (2) Biomass, (3) Dry mass, (4) Moisture content, (5) LSD_{5%} variety, (6) LSD_{5%} nutrient, (7) Interaction. In the LCA calculations, the two-year-long rotation technology was examined at 40 t ha⁻¹ average yield per two years and 49.5% moisture content at harvest. Legend: Ø=control; M=nitrogen fertiliser, 50 kg ha⁻¹ active ingredient; K=compost, 40 t ha⁻¹.

Az életciklus-elemzés módszerének és eredményeinek ismertetése

Egy technológiai folyamat vagy termék környezeti hatásainak feltérképezésére széles körben elfogadott módszertan az életciklus-elemzés. Ennek lényege, hogy a vizsgált termék vagy szolgáltatás teljes életciklusának – vagyis az előállításának, a felhasználásának és a megsemmisítésének – az összes környezeti hatását figyelembe veszi. Ezt nevezik a bölcsőtől a sírig, vagy „*cradle to grave*” szemléletnek. Az életciklus általában az alapanyagok megszerzésével kezdődik és a termék megsemmisítésével, hulladékká válásával, illetve a szolgáltatás felszámolásával végződik. Az elemzés a környezeti hatásokat többféle szempont szerint aggregálva könnyen érthetővé és összehasonlíthatóvá teszi más alter-

natív hasznosításokkal. Ilyen módon megkönnyíthető a környezeti szempontok figyelembevétele a döntéshozatalban.

Megállapíthatjuk azonban az általunk vizsgált rendszer határait úgy is, hogy például csak a termelésig vizsgáljuk az adott termék környezeti hatásait, és a felhasználásból, hulladékká válásból adódó hatásokat figyelmen kívül hagyjuk. Az ilyen jellegű vizsgálatokat bölcsőtől a kapuig („*cradle to gate*”) terjedő elemzésnek hívjuk, és elsősorban olyan termékek, szolgáltatások egymással való összehasonlítására alkalmasak, amelyek a termelés után eltérő módon kerülnek felhasználásra.

A nemzetközi standard (ISO 14044) szerint az életciklus-elemzés lépései a következők:

1. a vizsgálat céljának és fókuszának meghatározása,
2. az anyag- és energiaáram leltár kialakítása (LCI),
3. hatáselemzés (LCA),
4. értelmezés (Frischknecht, Jungbluth 2007; Sára 2010).

A vizsgálat céljának és fókuszának, illetve tárgyának meghatározásakor pontosan kell definiálni a vizsgálat elvégzésének okát és a vizsgálat pontos tárgyát. E meghatározásokra épülnek azután a további vizsgálati lépések. Jelen tanulmányunkban a vizsgálat célja a fűz apríték-előállítás környezeti hatásainak meghatározása, amelybe az előállított alapanyag a felhasználás helyére történő elszállítását is bele értjük. Eredményeinket pedig összehasonlítjuk más hagyományos szántóföldi terményekkel. Vagyis arra a kérdésre kerestük a választ, hogy jobb-e környezeti szempontból a fűz energiaültetvény, mint a búza vagy a kukoricatermesztés? És ha igen, akkor a főbb mutatók mennyiben térnek el egymástól a hazai termesztéstechnológiákat figyelembe véve?

A célmeghatározás után a következő lépés az anyag- és energiaáram leltár kialakítása. Az anyag- és energiaáramok meghatározásakor két típusal kell foglalkoznunk. Egyrészt a bemenő áramok listáját kell összeállítanunk, másrészt pedig a rendszert elhagyó vagy kimenő áramokét. Mindazon áramok, amelyek átlépik az általunk elemzett rendszer határait, kifejezetten fontosak az életciklus-elemzés szempontjából, ugyanis ezen áramok járnak valójában környezeti hatással. Ezeket alapvető áramoknak („*elementary flow*”) nevezzük. A rendszeren belül megjelenő energia- és anyagáramok („*tracked flow*”) ennek alapján a környezet szempontból közvetlenül nem is fontosak.

A pontos vizsgálat érdekében körül kell határolnunk a vizsgált rendszert és annak funkcionális egységét. A vizsgált rendszer csak az alapanyag-előállí-

tásra vonatkozik, így a bölcsőtől a kapuig szemlélet alapján került kialakításra. Ennek értelmében a faapríték felhasználásával kapcsolatos környezeti hatások a vizsgált rendszerhatáron kívül esnek (1. ábra).

1. ábra. A fűz apríték előállítás életciklusának határai és fontosabb anyagáramai

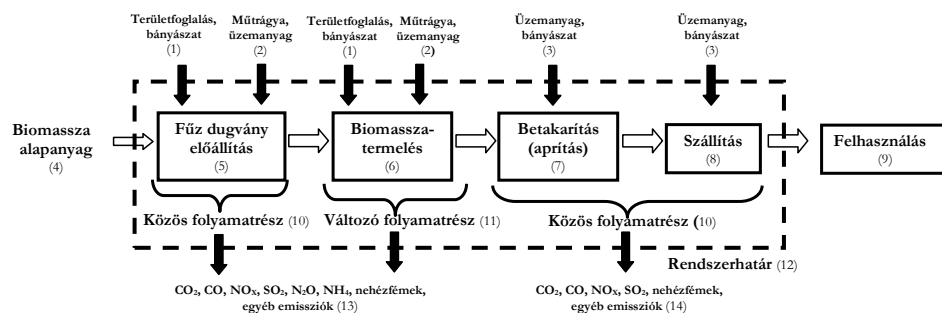


Figure 1. The borders and the most important material flows of the life-cycle of willow woodchip production. (1) Occupation of the area, mining, (2) Fertiliser, fuel, (3) Fuel, mining, (4) Biomass feedstock, (5) Production of willow cutting, (6) Biomass production, (7) Harvesting (chipping), (8) Transportation, (9) Use, (10) Common process phase, (11) Changing process phase, (12) System border, (13) CO_2 , CO, NO_x , SO_2 , N_2O , NH_4 , heavy metals, other emission, (14) CO_2 , CO, NO_x , SO_2 , heavy metals, other emission.

Az 1. ábrán a fekete nyilak jelentik az alapvető áramokat, amelyek környezeti szempontból közvetlen hatásokkal járnak, a fehér nyilak pedig a rendszeren belül maradó áramokat szimbolizálják. Ez alól kivételt jelent a felhasználás irányába mutató zöld nyíl, amely valójában nem alapvető, hanem a folyamat következő részébe vezető rendszeren belüli („tracked”) anyagáramot jelenti.

Vizsgálatunk funkcionális egysége a rövid vágásfordulójú fűz ültetvényeken átlagosan egy év alatt termelt faanyagból a betakarítás során készült faapríték, amelyet meghatározott távolságú (50, 100, illetve 150 km-es) szállítással juttatnak el a felhasználás helyére. A szállítási távolság meghatározásakor a hazai lehetséges átlagos távolságokból indultunk ki és jelezni kívántuk, hogy milyen szerepet játszik a környezet-terhelésben a szállítás. Az életciklus-elemzés eredményei a rendszer ezen egységére vonatkoznak majd. A hatáselemzés elvégzéséhez meg kell határoznunk azt a referenciaáramot is, amely a vizsgált termék vagy szolgáltatás szempontjából legjobban értelmezhető anyagáram, vagyis az a termék, amely leginkább funkcionális egységnek tekinthető (Sára 2010). Esetünkben a referenciaáramot 1 tonna frissen betakarított (49,5%-os

nedvességtartalmú) faapríték képezi, amelyre aztán az összes környezeti hatást vonatkoztattuk. A megtermelt alapanyag energiatartalma (égéshője) száraz állapotban és kétéves korban 18,1 MJ/kg, amelynek értelmében a friss betakarítású faapríték fűtőértéke mindössze 7,9 MJ/kg lesz.

Esetünkben a vizsgálat tárgyát képező kétéves vágásfordulóval művelt ültetvény élettartama 12 év, amelybe 0. évként beletartozik a telepítés éve is. A természetstechnológia leírását és a fontosabb környezeti hatásokat a 3. táblázat tartalmazza. Az életciklus-elemzés módszertana szerint a közvetlen anyag- és energiaáramokon túl a területfoglalásból és a terület-átalakításból származó környezeti hatásokat is meg kívánjuk jeleníteni. Ezen tényezők feladata a biológiai sokféleségben és az ökoszisztéma szolgáltatásokban okozott károk számszerűsítése. Míg a területfoglalás csak időszakos és a természetes szukcesszió előrehaladását gátolja, addig a terület-átalakítás végleges változásokat okoz, és azt feltételezi, hogy az adott infrastruktúra következtében a korábbi természetes élőhelyet végérvényesen felszámolják (*Frisknecht és Jungbluth 2007*).

A betakarítás járvaszecskázóval történik. A keletkező faapríték szállításából eredő környezetterhelés mértékét 50, 100, illetve 150 km-es szállítási távolság esetén 16–32 tonna szállítási kapacitású, Euro 4-es kibocsátási értékekkel rendelkező teherautók környezetterhelése jelenti. Ezzel ellentétben a természetstechnológia során felmerülő szállítási feladatok környezeti hatásait 3,5–7,5 tonna szállítási kapacitású, Euro 4-es kibocsátási értékekkel rendelkező teherautók, illetve traktorok adják.

A funkcionális egység tehát, amelyre az életciklus-elemzés eredményei vonatkoznak, a 12 éves élettartam egy átlagos évére eső faapríték, melyet 50 km, 100 km, illetve 150 km-es szállítással a felhasználás helyére juttatnak. A referenciaáram 1000 kg. Ennek megfelelően a természetstechnológia műveleteit is a 12 éves élettartam egy átlagos évére viszonyítottuk.

Az életciklus-elemzés következő lépése a hatáselemzés, amelynek során az alapvető anyag- és energiaáramok környezeti hatását számszerűsítjük különböző aggregációs eljárások segítségével. Ehhez ki kell választanunk a számunkra fontos hatáskategóriákat. Ilyenek lehetnek például az üvegházhatás (ÜHG) potenciál, az eutrofizációs potenciál, illetve a humán toxicitás.

3. táblázat. Fűz termesztéstechnológia kétéves vágásfordulóval és műtrágya felhasználással 1 ha-ra vonatkoztatva

Felhasznált folyamatok (1)	Mennyiség (2)	Mérték- egység (3)
Növényvédelmi permetezés (4)	1538,5	m ²
Műtrágyaszórás (5)	5000	m ²
Ültetés (6)	769,2	m ²
Talajművelés, mélylazítás (7)	769,2	m ²
Talajművelés, szántás (8)	769,2	m ²
Talajművelés rotációs kultivátorral (9)	15 000	m ²
Szállítás traktorral és pótkocsival (10)	1,34	tkm
Acetamid-anillid keverék (régiós raktárban) (11)	0,3	kg
Ammónium-nitrát N-ként (régiós raktárban) (12)	64	kg
Glifozát (régiós raktárban) (13)	0,2	kg
Fémmegmunkálás, öntött vas darabok (kapákhoz) (14)	1,5	kg
Kálium-klorid (régiós raktárban) (15)	37,5	kg
Superfoszfát (régiós raktárban) (16)	107	kg
Szállítás teherautóval (3,5–7,5 t, EURO4-es kibocsátás) (17)	13,4	tkm
Fűz dugvány (18)	39,1	kg
Szén-dioxid (19)	18 516,7	kg
Energia, szerves anyag energiataralma (20)	158 584,7	MJ
Területfoglalás folyamatos növényborítású területtel (intenzív gyümölcsös) (21)	10 000	m ² × év
Területátalakítás szántóról (22)	769,2	m ²
Területátalakítás folyamatos növényborítású területté (intenzív gyümölcsös) (23)	769,2	m ²

Table 3. SRC willow technology in two years rotation and fertiliser utilisation on 1 hectare. (1) Applied processes, (2) Quantity, (3) Measurement unit, (4) Spraying for crop protection purposes, (5) Fertiliser spreading, (6) Plantation, (7) Cultivation, deep loosening, (8) Cultivation, ploughing, (9) Cultivation with rotating cultivator, (10) Transport with a tractor and a trailer, (11) Acetamide-anilide mix (in the regional storage room), (12) Ammonium nitrate as N (in the regional storage room), (13) Glyphosate (in the regional storage room), (14) Metal-work, cast-iron parts (for hoes), (15) Postassium-chloride (in the regional storage room), (16) Superphosphate (in the regional storage room), (17) Transport with a truck (3.5–7.5 t, EURO4), (18) Willow cutting, (19) Carbon dioxide, (20) Energy, energy content of the organic matter, (21) Occupation of the area with uninterrupted crop coverage (intensive orchard), (22) Changing the plough-land, (23) Changing the area into an field with uninterrupted crop coverage (intensive orchard).

Az általunk használt GaBi4 szoftver¹ mindezeket a hatáskategóriákat tartalmazza. Az egyes hatáskategóriák normalizálási, illetve súlyozási módszerekkel egymással összehasonlíthatóvá, illetve összevonhatóvá is tehetőek (Sára 2010).

A kétéves vágásfordulójú termesztéstechnológia esetében mind a termés-hozam és az energiatartalom, mind a termesztéstechnológia műveleteivel kapcsolatos adatok (pl. az egyes műveletek gyakorisága, a felhasznált alapanyagok mennyisége, stb.) mért adatok.

Az egyes termesztéstechnológiák életciklus-elemzését a GaBi4 professional for Life Cycle Engineering (PE International GmbH and LBP University of Stuttgart, 2007) szoftver, valamint az Ecoinvent database v2.2 (2007) (Swiss Centre for Life Cycle Inventories) adatbázis felhasználásával készítettük el.

Az életciklus-elemzés eredményei

Az általunk vizsgált fűz energiaültetvény esetében a kétéves termesztéstechnológia alapján az üvegházhatású gázok (ÜHG) kibocsátásának potenciálját, a savasodási potenciált és az energiahatékonyságot határoztuk meg a hatáselemzés során (4. táblázat).

Mivel a módszertan szigorú értelmezése szerint a növény által megkötött CO₂ mennyiségét is figyelembe kell vennünk, az ÜHG potenciál esetében a más szerzők számításával való összehasonlíthatóság érdekében két adatot adunk meg. Egyrészt a fűz által megkötött CO₂-t is figyelembe vevő ÜHG potenciált („termény figyelembevétel”), illetve az ezt figyelmen kívül hagyó kalkulációt („termény figyelembevétele nélkül”), ahol – mivel a növény elégetésre kerül – CO₂ neutrálisnak vesszük a biomassza széndioxid megkötését.

Az ÜHG potenciál a kétéves vágásfordulójú technológia esetében -854,64 és -839,44 kg CO₂ ekvivalens/t biomassza érték között mozog, ha a növény CO₂ megkötését is figyelembe vesszük. Ha ezt nem vesszük figyelembe az értékek 73,9 és 89,15 kg CO₂ ekvivalens/t biomassza érték között alakulnak, vagyis a növény elégetése esetében a termelés, a betakarítás és a hasznosító üzemhez való szállítás ennyi plusz széndioxid kibocsátást jelent.

¹ A GaBi4 (a rövidítés jelentése „ganzheitliche Bilanzierung”) életciklus elemző szoftver egy az életciklus elemzésben elfogadott mérnöki program, amely igen precíz és az aktuális feladathoz szabható beállítási lehetőségeket tartalmaz. A szoftver működéséhez rendelkezésre álló, az EcoInvent svájci központ által készített, adatbázis pedig a biomasszával kapcsolatos adatok tekintetében bír részletes adatokkal.

Ebből 50 tkm szállítás mintegy 7,6 kg CO₂ ekvivalens/t értékkel növeli az ÜHG kibocsátást. Ez a teljes kibocsátás 8–10%-át teszi ki.

4. táblázat. *Életciklus-elemzés eredményei kétéves vágásfordulójú energiafűznel 1 tonna friss hozamra vonatkoztatva*

Szállítási távolság (1)	Mutatók (2)	Fűz, 2 éves vágásforduló (3)	
		Termény figyelembevételével (4)	Termény figyelembevétele nélkül (5)
50 km	kg CO ₂ eq/t	-854,64	73,9
	kg SO ₂ eq/t	0,55	
	Energia input, GJ/t (6)	1,00	
	Termény energiatartalma, GJ/t (7)	7,93	
	Energia O/I hányados (8)	7,91	
100 km	kg CO ₂ eq/t	-847,04	81,53
	kg SO ₂ eq/t	0,58	
	Energia input, GJ/t (6)	1,13	
	Termény energiatartalma, GJ/t (7)	7,93	
	Energia O/I hányados (8)	7,01	
150 km	kg CO ₂ eq/t	-839,44	89,15
	kg SO ₂ eq/t	0,62	
	Energia input, GJ/t (6)	1,26	
	Termény energiatartalma, GJ/t (7)	7,93	
	Energia O/I hányados (8)	6,29	

Table 4. Results of a life cycle analysis of SRC willow in two years rotation. (1) Transport distance, (2) Indexes, (3) Willow, two years rotation, (4) With the consideration of produces, (5) Without the consideration of produces, (6) Energy input, GJ t⁻¹, (7) Energy content of the produce, GJ t⁻¹, (8) Energy O/I ratio.

A savasodási potenciál tekintetében már nincs jelentősége a biomassza által megkötött CO₂ külön történő figyelembevételének, így itt csak egy értéket kalkuláltunk. A savasodási potenciál értéke 50 km szállítási távolság esetében 0,55 kg SO₂ ekvivalens/t biomassza, amely 0,04 SO₂ ekvivalens/t értékkel (azaz

mintegy 7%-kal) nő, ha a megtermelt biomasszát további 50 km-re szállítjuk. Az energiahatékonyság számításakor mind a biomassa előállításához, betakarításához és szállításához szükséges energiát, mind pedig a biomassa által megkötött energiát figyelembe véve számoltunk energiahatékonyságot O/I hányados segítségével kifejezve azt. Eredményeink szerint egy GJ energiaráfordítással, amely már tartalmazza a biomassa betakarítását és az 50 km-re lévő hasznosító üzemhez való elszállítását is 7,9 GJ biomasszában között energia állítható elő. Ez az érték természetesen kedvezőtlenebb, ha messzebbre szállítjuk a biomasszát: 150 km esetében csupán 6,29 GJ, vagyis további 50 km szállítási távolság tonnánként 0,13 GJ-lal növeli meg az energiaigényt.

A következőkben hasonlítsuk össze a fent ismertetett két éves vágásfordulójú fűz energiaültetvény adatait két hagyományos szántóföldi növény, a búza és a kukorica ugyanolyan szállítási távolságokat feltételező környezeti hatásaival (5. táblázat). A kalkulációt itt is az EcoInvent 2.2 adatbázis felhasználásával készítettük, felhasználva az adatbázisban meglévő adatsorokat. A számítás funkcionális egysége az egy év alatt megtermelt kukorica vagy búza, a referenciaáram pedig 1000 kg.

Kukorica esetében 14%-os nedvességtartalommal és 9279 kg/ha hozammal, míg búza esetében 15%-os nedvességtartalommal és 6425 t/ha hozammal számoltunk. A két növény esetében alkalmazott termesztéstechnológia integrált, tehát a konvencionálisnál kevesebb műtrágyát és növényvédőt szert alkalmaz, továbbá az általános európai növénytermesztési gyakorlatot tükrözi. Fontos itt megjegyeznünk, hogy bár az eredményeket a termés mennyiségére vonatkoztatjuk, a számítás a teljes növényre vonatkozó anyagáramokat veszi figyelembe, tehát mind a kukoricaszár, mint a búzaszalma mennyisége és az abban megkötött anyagáramok a kalkuláció részét képezik.

A CO₂ kibocsátás a kukorica és búza esetében lényegesen magasabb, mint a fűz energiaültetvény eredményei: a kukorica esetében 616,48 CO₂ ekvivalens/t biomassa, míg a búzatermesztés esetén 601,58 CO₂ ekvivalens/t biomassa 50 km-es szállítási távolság esetén. Amennyiben a biomasszában megkötött CO₂-t is figyelembe vesszük a különbség jóval kisebb: kukorica esetében -765,32, búza esetében pedig -731 CO₂ ekvivalens/t biomassa, ami lényegesen közelebb áll a fűz értékéhez (-854,64 CO₂ ekvivalens/t biomassa). A különbség oka az, hogy bár a gabonák esetében nagyobb az egy tonnában megkötött CO₂ mennyisége a jóval alacsonyabb nedvességtartalom miatt (búza termesztésekor -1332,6 CO₂ ekvivalens/t biomassa, kukorica termesztésekor

-1381,8 CO₂ ekvivalens/t biomassa), azonban az intenzívebb termesztés következtében – több műtrágya, növényvédő szer és munkaművelet – a kibocsátási oldal is jóval magasabb.

5. táblázat. Főbb életciklus-elemzési eredmények kukorica és búza esetében

Szállítási távolság (1)	Mutatók (2)	Kukorica (3)		Búza (4)	
		Termény figyelembevételével (5)	Termény figyelembevétele nélkül (6)	Termény figyelembevételével (5)	Termény figyelembevétele nélkül (6)
50 km	kg CO ₂ eq/t	-765,32	616,48	-731,02	601,58
	kg SO ₂ eq/t	5,22		4,32	
	Energia input, GJ/t (7)	4,06		3,57	
	Termény energiatartalma, GJ/t (8)	15,75		15,74	
	Energia O/I hányados (9)	3,88		4,41	
100 km	kg CO ₂ eq/t	-757,72	624,08	-723,42	609,18
	kg SO ₂ eq/t	5,25		4,35	
	Energia input, GJ/t (7)	4,19		3,70	
	Termény energiatartalma, GJ/t (8)	15,75		15,74	
	Energia O/I hányados (9)	3,76		4,26	
150 km	kg CO ₂ eq/t	-750,12	631,68	-715,82	616,78
	kg SO ₂ eq/t	5,29		4,39	
	Energia input, GJ/t (7)	4,32		3,83	
	Termény energiatartalma, GJ/t (8)	15,75		15,74	
	Energia O/I hányados (9)	3,65		4,11	

Table 5. Results of life cycle analysis in the case of maize and wheat production. (1) Transport distance, (2) Indexes, (3) Maize, (4) Wheat, (5) With the consideration of products, (6) Without the consideration of products, (7) Energy input, GJ t⁻¹, (8) Energy content of the produce, GJ t⁻¹, (9) Energy O/I ratio.

Sokkal kedvezőtlenebb azonban a kép a savasodási potenciál eredményeit illetően. Ebben az esetben a gabonák mintegy tízszeres értéket (4,3–5,2 SO₂ ekvivalens/t biomassa) mutatnak a fűzhöz (0,55 SO₂ ekvivalens/t biomassa) képest. Ez a magasabb műtrágya-, növényvédőszer- és üzemanyag-használat miatti ammónia és a nitrogén oxidok légköri emissziójával magyarázható. Az

energiahatékonyság tekintetében közel kétszer hatékonyabbnak tekinthető a fűz a gabonáknál: búza és kukorica esetében 3,88–4,4 O/I hányadost kapunk, míg a fűz esetében 7,9 ugyanez az érték.

A területhasználat összehasonlíthatósága érdekében szemléletesebb adatokat kapunk, ha azokat egy hektárra vonatkoztatjuk. Ebben az esetben kukorica és búza termesztésekor hektáronként évente 7101 kg, illetve 4697 kg CO₂ nyelődik el – amelyben értelemszerűen a kukoricaszár és szalma széntartalma is benne foglaltatik –, míg a kétéves vágásfordulójú fűz esetében 17 093 kg. Az egy hektárra vetített savasodási potenciál a kukorica esetében 48,43 SO₂ egyenérték, a búzánál 27,73 SO₂ egyenérték, a fűz esetében pedig mindössze 11 kg SO₂ egyenérték kibocsátást jelent.

A kukorica és a kétéves vágásfordulójú fűz esetében a legfontosabb kibocsátási tényezőket mutatja a következő két ábra az ÜHG potenciál (2. ábra) és a savasodási potenciál (3. ábra) esetén.

2. ábra. ÜHG potenciál a kukorica és a kétéves vágásfordulójú fűz esetében 50 km-es szállítási távolság mellett

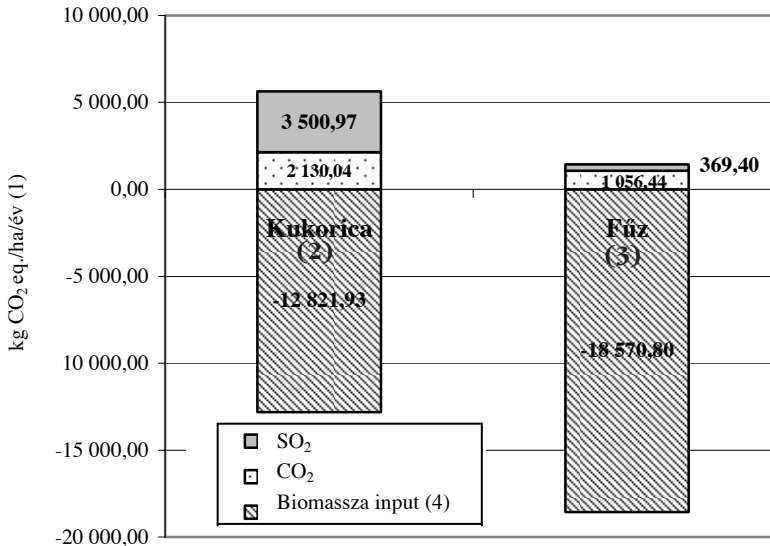


Figure 2. Greenhouse gas emission during maize and SRC willow production in two years rotation at 50 km transport distance. (1) kg CO₂ eq. ha⁻¹ year⁻¹, (2) Maize, (3) Willow, (4) Biomass input.

Az ÜHG potenciál vizsgálatokor egyrészt a nyelés oldalán a CO₂ megkötés jelentett kiemelkedő értékeket, másrészt a kibocsátási oldalon a műveléskor felszabaduló fosszilis eredetű CO₂, illetve N₂O. Az adatok alapján szembetűnő a különbség mindkét mutatónál. A fűz kibocsátás oldali ÜHG potenciálja töredéke a kukoricáénak, azonban egy hektárra vonatkoztatott széndioxid nyelése jelentősen meghaladja a kukoricáét, ahol elsősorban a műtrágyázásból adódó N₂O kibocsátás jelentős.

3. ábra. Savasodási potenciál a kukorica és a kétéves vágásfordulójú fűz esetében 50 km-es szállítási távolság mellett

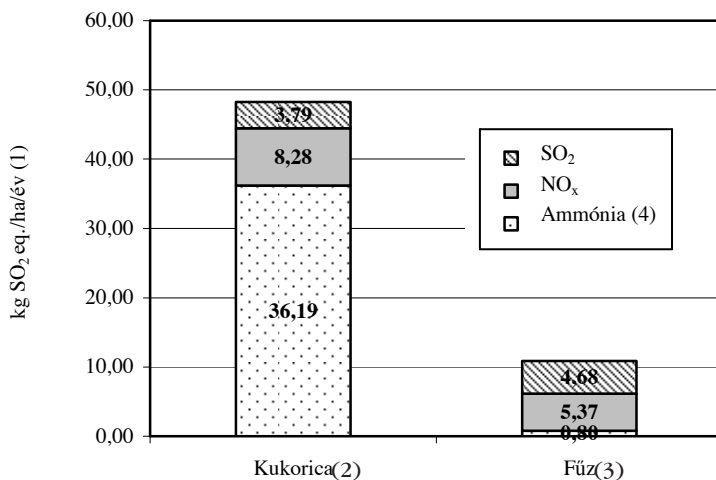


Figure 3. Acidification potential of maize and SRC willow production in two years rotation at 50 km transport distance. (1) kg SO₂ eq. ha⁻¹ year⁻¹, (2) Maize, (3) Willow, (4) Ammonia.

A savasodási potenciál kialakulásában elsősorban az ammónia-emisszió, valamint a fosszilis eredetű nitrogén-oxidok és a kéndioxid játszik fontos szerepet. A kukoricatermelés során nagyságrendileg magasabb a savasodási potenciál, amely főképpen a műtrágyázásból származó ammóniának és NO_x-nek tulajdonítható.

Következtetések

A környezeti hatások túlnyomó hányada az intenzív művelésből – műtrágyázás, vegyszeres növényvédelem és gépjármű – adódik. A növény biomassza hozama,

talajtakaró hatása pedig tompíthatja e környezetterheléseket. Eredményeink egyértelműen mutatják, hogy az intenzívebb művelés jelentősen rontja a növénytermesztés környezeti mutatóit és terheli a környezetet. Ennek következtében a hagyományos szántóföldi gabonafélék mind energiahatékonyság, mind környezetterhelésük szempontjából sokkal kedvezőtlenebbek, mint a fás szárú energiaültetvények. Az energiahatékonyság tekintetében mintegy kétszeres, az ÜHG potenciált illetően több mint nyolcszoros, a savasodási potenciál esetében pedig több mint tízszeres a különbség a szántóföldi gabonák és a fűz energiaültetvény kibocsátásai között 1 tonna terményre vonatkoztatva. Ha az eredményeket 1 ha területre vetítjük, az energiafűz előnye mérséklődik: az ÜHG potenciál esetében mintegy két-háromszoros, a savasodási potenciált illetően több mint 2-4-szeres.

További fontos vizsgálati terület lenne az energiaültetvények összehasonlítása hasonló alapanyagot előállító földhasználatokkal, mint például a hagyományos erdőgazdálkodás során történő tűzifatermelés, illetve más technológiával megvalósuló fás vagy lágyszárú energianövény-termesztés.

Köszönetnyilvánítás

Az életcikluselemzés kalkulációi a Coach BioEnergy Central Europe kutatás keretében valósultak meg.

IRODALOM

- Barczi, A.–Joó, K.–Pető, Á.–Bucsi, T.:* 2006. Survey of the buried paleosoil under the Lyukas-mound in Hungary. *Eurasian Soil Science*. 39. 1: 133–140.
- Baráth E.–Ittész A.–Ugrósdý Gy.:* 1996. *Biometria*. Mezőgazda Kiadó. Budapest.
- Begley, D.–McCracken, A. R.–Dawson, W. M.–Watson, S.:* 2008. Interaction in Short Rotation Coppice willow, *Salix viminalis* genotype mixtures. *Biomass and Bioenergy*. 33. 2: 163–173.
- Cambell, P. G. C.–Stokes, P. M.–Galloway, J. N.:* 1983. The effect of atmospheric deposition on the geochemical cycling and biological availability of metals. [In: *Heavy Metals in Environment*.] Heidelberg International Conf. CEP Consultants. Edinburgh. 2: 760–763.
- Dobó, E.–Fekete-Farkas, M.–Kumar Singh, M.–Sztúcs, I.:* 2006. Ecological-economic analysis of climate change on food system and agricultural vulnerability: a brief overview. *Cereal Res. Commun.* 34. 1: 777–781.

- Farkas, C.–Randriamampianina, R.–Majercka, J.:* 2005. Modelling impacts of different climate change scenarios on soil water regime of a mollisol. *Cereal Res. Commun.* 34. 1: 185–188.
- Frisknecht, R.–Jungbluth, N. (eds.):* 2007. Overview and Methodology. *Ecoinvent Report No. 1.* Ecoinvent Centre. Dübendorf, 28–30.
- Gyuricza, Cs.:* 2007. Cultivating woody energy crops for energetic purposes. *Biowaste.* 2. 4: 25–32.
- Heller, M. C.–Keoleian, G. A.–Volk, T. A.:* 2003. Life cycle assessment of a willow bioenergy cropping system. *Biomass and Bioenergy.* 25. 1: 147–165.
- Kohlheb N.–Pataki Gy.–Porteleki A.–Szabó B.:* 2010. A megújuló energiaforrások társadalmi hasznosságának értékelése. *Tanulmány.* ESSRG Kft. 48.
- Mola-Yudego, B.–Aronsson, P.:* 2008. Yield models for commercial willow biomass plantations in Sweden. *Biomass and Bioenergy.* 32. 9: 829–837.
- Nemzeti Cselekvési Terv:* 2010. Magyarország Megújuló Energiaforrási Cselekvési Terve (NCsT). A 2020-ig terjedő megújuló energiaforrási felhasználás alakulásáról. Nemzeti Fejlesztési Minisztérium.
- Sára B.:* 2010. Az életciklus felmérés lépései. *FEBE Ecologic.* 10.
- Varga K.–Homonnai G.:* 2009. Munkahelyteremtés zöldenergiával – A megújuló energiaforrások munkahelyteremtő hatásának nemzetközi tapasztalatai. *Tanulmány.* Energia Klub. 17.

A szerzők levelezési címe – Address of the authors:

Dr. Gyuricza Csaba–Hegyesi József–Dr. Kohlheb Norbert
Szent István Egyetem
Mezőgazdaság- és Környezettudományi Kar
Gödöllő
Páter K. u. 1.
H-2103