

# 7 éves fás szárú energetikai ültetvény szénmérlegének vizsgálata

Benke Attila<sup>1</sup> – Tóvári Péter<sup>2</sup> – Borovics Attila<sup>1</sup>

<sup>1</sup> NAIK Erdészeti Tudományos Intézet, Nemesítési Osztály, Sárvár

<sup>2</sup> Szent István Egyetem, Növénytermesztési Intézet, Gödöllő

A fotoszintetizáló növények által létrehozott kémiai kötésekben tárolt energián alapuló biomassza, mint energiaforrás, mintegy 10-14 %-ban járul hozzá a világ energiaellátásához (McMendry, 2002). Tekintettel a fosszilisenergiahordozó-felhasználás okozta környezeti problémákra, valamint azok egyre korlátozottabb rendelkezésre állására, a zöldenergia-termelés volumenének növelésére már napjainkban is jelentős erőfeszítések történnek. Ennek egyik megnyilvánulási formája az egyes országok, köztük hazánk zöldenergia-felhasználás növelésére tett vállalása.

Magyarország Megújuló Energia Hasznosítási Cselekvési Terve 2010-2020 értelmében hazánk a villamos energia és hűtés-fűtés szektorokban felhasznált biomassza mennyiségét a 2010-es 40,74 PJ szintről 2020-ra 60,97 PJ-ra növeli (Nemzeti Fejlesztési Minisztérium, 2011). A tervek szerint az összfelhasználás növekedése mellett az egyes biomasszák felhasználása terén is várható változás. Az arányok elsősorban a melléktermékek és hulladékok, valamint a célirányosan termesztett energianövények felé tolnak.

Az energianövények között jelentős szerepet játszanak a fás szárú energetikai ültetvények telepítésében alkalmazható fajok, illetve azok nemesített fajtái. Alkalmazásukkal rövid vágásfordulóban nagy mennyiségű, energetikai hasznosításra akár közvetlenül is felhasználható fás dendromassza termelhető. Termesztésük kiterjesztése enyhítheti az erdészeti ágazatra nehezedő tűzifa és a vágástéri vékonyfa iránti nagyfokú keresletet, biztosabbá téve így a vidéki lakosság téli tüzelőanyag-ellátását.

Az ültetvényekben megtermelt fás dendromassza környezeti értéke abban rejlik, hogy annak tüzelőanyagként történő felhasználása során elvben annyi szén-dioxidot juttatunk vissza a légkörbe, amennyit a növények a termesztési ciklus során onnan megkötöttek. A szénmérleg ugyanakkor természetesen nincs egyensúlyban, hiszen az ültetvények telepítésének előkészítése, telepítése, ápolása, növényvédelme, betakarítása, valamint felszámolása során alkalmazott gépek fosszilis eredetű üzemanyagot használnak, azaz többlet szén-dioxiddal terhelik meg a légkört.

Jelen tanulmányunk alapját képező kutatásban arra a kérdésre kerestük a választ, hogy egy középidejű fás szárú energetikai ültetvény esetében a telepítése óta megtermelt fás dendromasszában megkötött és az ültetvényben végzett gépi munkák során a légkörbe jutott szén mennyisége milyen arányban áll egymással, illetve, hogy mely fajok vagy fajták képesek hatékonyabb szénmegkötésre?

## Anyag és módszer

### Kísérleti terület

A kísérleti ültetvény 2007 tavaszán létesült a NAIK Erdészeti Tudományos Intézet Bajti Nemesítő Telepén, Sárváron. A 3 ismétléses, véletlen blokk elrendezésű, 1 tényező, 65 kezelési kísérletben 53 nemesnyár, 6 fekete nyár, 4 fehér fűz, 1 kosárkötő fűz klón, valamint akác került kiültetésre 3 m-es sorköz és 40 cm-es tőtávolság, illetve egy soros, 100 egyedű tartalmazó parcellák kialakításával. Tekintettel a kísérleti területet 2007/2008 telén ért jelentős vadkárra, 2008. év elején a második és harmadik ismétlés letermelésre került. Ezt követően az egyes

blokkok betakarítási ciklusát úgy határoztuk meg, hogy minden évben a hároméves hajtásokat tartalmazó kerüljön letermelésre. Így, bár az ültetvény valódi kísérlet jellegét elvesztette, alkalmas lett a hároméves betakarítási ciklus valamennyi fázisának egy időben történő vizsgálatára.

A vizsgálatba két nemesnyár fajtát [*Populus × euramericana* (DODE) GUINIER cv. I-214, Kopecky], két nemesnyár fajtajelöltet (*P. × euramericana* cv. Sv-879, Sv-890), két fehér fűz fajtát (*Salix alba* L. cv. Drávamenti, Express), valamint az akácot (*Robinia pseudoacacia* L.) vontuk be.

Kutatásunk során kizárólag a betakarítási magasság (~ 10 cm) feletti fás dendromasszákat vizsgáltuk, azaz a levelekben, valamint a gyökérzetben és a tuskóban megkötött szén mennyiségét nem határoztuk meg.

### Mérési módszerek

A hozam adatok meghatározása az egyes blokkokban a hároméves ciklusok végén történt. A mérések alkalmával parcellánként 3×10 tő került lemérésre, 0,1 kg-os pontossággal. A megmaradási értékekkel korrigált, egy hektárra vonatkoztatott hozam adatokból éves hozamot számítottunk, majd az egyes évekhez tartozó hozamokat átlagoltuk. Az egyes évekhez számított hozamokból meghatározhatóvá vált a vizsgált genotípusok teljes, az ültetvény addigi élettartama alatt képzett fás dendromassza tömege.

A növényekből vett fatest- és kéregminták széntartalmát a NAIK ERTI Sárvári Ökológiai Laboratóriumában Eurovector EA3000 analizátorral határoztuk meg.

Az ültetvény létesítése és üzemeltetése során alkalmazott erőgépművelésszerek kombinációk hajtóanyag-felhasználását a NAIK Mezőgazdasági Gépesítési Intézet által kiadott, „Mezőgazdasági gépi munkák költsége 2014-ben” című kiadvány vonatkozó táblázatai segítségével határoztuk meg (Gockler, 2014).

## Eredmények

### Hozamok

Az egyes blokkokban háromévente mért hozamokból számított éves átlagos hozamok összesítésével meghatároztuk a vizsgált fajok, fajták és fajtajelöltek 2007 és 2013 között eltelt hét vegetációs időszaka alatt képzett, egy hektárra vonatkoztatott fás dendromassza hozamát (1. táblázat).

A vizsgált kísérleti energetikai ültetvény a Bajti csemetékertben



A táblázat adatai alapján látható, hogy a két nemesnyár fajtajelölt képezte a legnagyobb fás dendromassza-tömeget a 7 év alatt; szárazanyagra vonatkoztatva az 'Sv-890' 43,5, az 'Sv-879' fajtajelölt 43,0 t faanyagot képezett. Ugyancsak jó hozammal bír az ültetvényben az 'I-214' nemesnyár (40,4 atrot), valamint az 'Express' fehér fűz is (39,3 atrot). A leggyengébb növekedést a 'Drávamenti' fűz produkálta, hozama a 7. vegetációs időszak végére nem érte el a 20 atrotónát (17,8 atrot). Megjegyzendő ugyanakkor, hogy a kísérlet egy közepes termőhelyen, többletvíz-hatástól mentes, középkötött talajon létesült, valamint a területen tápanyagutánpótlás, illetve dugványozást követő beöntözés nem történt.

A kísérletben szereplő nyárfajták és fajtajelöltek hozama, külföldön, különböző nyárfajokkal és klónokkal létesült kísérletek hozamadataival összehasonlítva, átlagosnak tekinthető [5,3 t/ha/év (Dillen et al., 2013), 1,52-7,22 t/ha/év (Verlinden et al., 2013)], ami szintén a csemetekert termőhelyi tulajdonságainak közepes minőségét jelzi (megemlítenőd, hogy az idézett kísérletek ültetési hálózata, a betakarítás időpontja, az alkalmazott fajták, valamint az ültetvények kezelése is eltért az általuk alkalmazottól).

Ugyancsak átlagosnak tekinthető az akác hozama a kísérleti ültetvényben, annak ellenére, hogy a termőhely, elsősorban a talaj kötöttségénél fogva, nem kedvező az akác számára. Rédei és munkatársai Helvécián, akác természetesen szempontjából közepesnek tekinthető termőhelyi körülmények között, 1,5 × 1,0 m-es hálózatban létesített rövid vágásfordulójú energetikai fajtaösszehasonlító kísérletben, a kontrollnak választott nem nemesített akác származás esetében 6,7 atrotónás éves hozamot állapítottak meg az ültetvény első 7 évére vonatkozóan (Rédei et al., 2011).

### Gépi munkák során kijuttatott szén mennyisége

Az ültetvény telepítését megelőzően a területen 2006 őszén 25 cm mély szántást végeztünk. A szántást 2007 márciusában két menetben végzett könnyű tárcsázással munkáltuk el. Tekintettel arra, hogy a telepítést (nyárak és fűzek dugványozását, akác csemeteültetését) kézi erővel végeztük, a kijelölt sorokban a területet talajmaróval jártuk át. A telepítés befejeztével a területen évente négy alkalommal végeztünk sorközépolást grubberrel, mintegy 15 cm-es mélységben.

1. táblázat Az egyes fajok, fajták és fajtajelöltek hozama 7 vegetációs időszakot követően

	I-214	Kopeccky	Sv-879	Sv-890	Drávamenti	Express	Akác
Hozam (t/7 év)	99,1	64,9	100,1	101,2	45,1	92,0	64,2
Megmaradás (%)	88,8	89,4	94,6	98,0	94,8	93,2	66,0
Szárazanyag-tartalom (%)	40,8	47,2	43,0	43,0	39,4	42,7	58,6
Hozam (atrot/7 év)	40,4	30,7	43,0	43,5	17,8	39,3	37,6
Hozam (atrot/év)	5,8	4,4	6,1	6,2	2,5	5,6	5,4

A növények kórokozói és károsítói ellen évente szintén négy alkalommal történt gépi vegyszeres védekezés. Az alkalmazott gépeket 58 kW teljesítményű MTZ-80-as traktor működtette. Az egyes műveletek egységnyi területre vonatkoztatott üzemanyag-felhasználását, valamint az általuk kijuttatott szén becsült mennyiségét a 2. táblázat tartalmazza.

A táblázat az egy hektárra vonatkoztatott gépi munkák vonatkozó értékeit tartalmazza [a talajmarózás, a grubberezés és a gépi vegyszeres növényvédelem során a traktor csak a sorközökben mozgott, így becsléseink szerint csak a terület 2/3-án végzett munkát (0,67 ha)]. A traktor üzemanyagigénye, valamint a normál hektár/hektár átszámítási tényező a „Mezőgazdasági gépi munkák költsége 2014-ben” című kiadvány 1/b. táblázata és a 2. számú melléklete alapján került megállapításra (Gockler, 2014). Az értékek kiválasztása során a II. területi kategóriát vettük figyelembe (ide tartoznak a sík területű kötött talajok, illetve az enyhe lejtésű, középkötött talajú területek), továbbá a grubberezéshez az „alapszűrt nehéz tárcsával vagy nehéz kultivátorral”, a permetezéshez pedig a „permetezés szőlőben” műveleteket választottuk. Az üzemanyag-felhasználás mértékegységének átváltásához szükséges arányszámot a normálhektár üzemanyagterfogat- és súlyegyenértékéből számítottuk [1 normál hektár 8 kg vagy 9,5 l gázolajjal teljesítő (Glockler, 2014); 1 kg gázolaj = 1,1875 l].

A gázolaj széntartalmának meghatározásához az Éghajlat-változási Kormányközi Testület (International Panel on Climate Change, IPCC) által közölt nettó fűtőérték és emissziós faktor adatokat használtuk, melyek a következők: 43,33 GJ/t, illetve 20,2 tC/TJ (IPCC, 2000). A két adat alapján 1 kg gázolaj 0,87466 kg szenet tartalmaz.

A táblázat alapján megállapítható, hogy az ültetvény eddigi élettartama alatt végzett gépi munkák során összesen mintegy negyedszáz tonnyi (0,254 t) szenet juttattunk a légkörbe hektáronként. Ennek a szénmennyiségnek mintegy 88 %-a az ápolási és növényvédelmi munkák alkalmával került vissza az atmoszférába, ami egyben azt is jelenti, hogy a legtöbb energiát erre a két műveletre fordítottuk.

Az ültetvényben gyűjtött fatest- és kéregminták széntartalmát laboratóriumi körülmények között határoztuk meg. A kapott értékeket, valamint az egyes fajok, fajták és fajtajelöltek egy hektárra vonatkoztatott szénmegtartását a 3. táblázat tartalmazza.

A táblázatban is látható, hogy a vizsgált fajok közül a nemesnyárak kötötték meg a legnagyobb mennyiségű szenet egységnyi területen az ültetvényben 7 év alatt. Az 'Sv-890' és 'Sv-879' fajtajelöltek hektáronként egyaránt 22-22 tonna szenet kötöttek le faanyagukban, de ugyancsak produktívnak bizonyult e téren az 'I-214' fajta is a maga 20,0 t/ha/7 éves megkötésével. A fehér fűz fajták közül az 'Express' mutatott magasabb szénmegtartást (19,4 t/ha/7 év) a 'Drávamenti'-vel szemben (8,9 t/ha/7 év). Az akác szénmegtartása faanyagának magasabb szárazanyag tartalmának köszönhetően szintén megközelítette a 20 tonnát hektáronként (18,8 t/ha/7 év).

A vizsgált fajok, fajták és fajtajelöltek faanyagvizsgálata során a fatest és a kéreg széntartalma között szignifikáns különbséget nem mutattunk ki (a táblázatban a két adat-sorból képzett átlagértékek szerepelnek), és ugyancsak nem volt szignifikáns különbség az egyes genotípusok egységnyi tömegű faanyagának széntartalma között sem. Emiatt a fajok, illetve fajták szénmegtartó képességbeli különbsége az adott termőhellyel szembeni toleranciájukkal hozható összefüggésbe, ami az ültetvények tervezése során a termőhelynek megfelelő faj/fajtaválasztás fontosságára hívja fel a figyelmet.

Bár a szénmegtartási adatok elméletiek (120 m<sup>2</sup>-es parcellák hozamadataiból számítottak), megállapítható, hogy egy intenzív fajtaváltozó közepes termőhelyen létesített ültetvény 7 év alatt két nagyságrenddel több szén megkötésére képes, mint amennyit az ültetvény létesítése és kezelése során a gépi munkálatokkal a légkörbe kijuttattunk. Adataink – mint azt korábban is jeleztük – egy közepes intenzív ültetvényre vonatkoznak, azaz a 7. évet követő ápolási és növényvédelmi, valamint ültetvényfelszámolási munkálatok üzemanyag-felhasználásával nem számolnak. Ugyancsak nem tartalmazzák az ültetvény rendszeres betakarítása alkalmával végzett

2. táblázat Az elvégzett gépi munkák üzemanyag-felhasználása és becsült szénkibocsátása

Művelet	Terület (ha)	Alkalom (db)	Üzemanyagigény (kg/nha - 80 LE-s traktor)	Átszámítási tényező (nha/ha)	Összes üzemanyag-felhasználás (kg)	Összes üzemanyag-felhasználás (l)	Kibocsátott szén mennyisége (kg)
Szántás	1	1	8,80	1,68	14,78	17,56	12,93
Tárcsázás	1	2	8,80	0,64	11,26	13,38	9,85
Talajmarózás	0,67	1	8,80	1,74	10,26	12,18	8,97
Grubberezés	0,67	4 × 7	8,80	1,04	171,69	203,88	150,17
Vegyszerezés	0,67	4 × 7	8,80	0,50	82,54	98,02	72,20



**2. ábra**  
Az ültetési sorok talajmaróval történő talaj-előkészítése bizonyult a legenergiaigényesebb műveletnek

hető faanyagban megkötött szén mennyiségével továbbra is kis értékek tekinthető.

Az ültetvény teljes élettartamára vonatkozó

gépi munka vonatkozó értékeit. Ez annak köszönhető, hogy az ültetvény kísérleti jellegére tekintettel abban kézi motorfűrészes betakarításokat végeztünk. Egy üzemi ültetvény esetében ugyanakkor a megtermelt fás dendromassza rendszeres betakarítása a technológia szerves részét képezi. Abban az esetben, ha a kísérleti ültetvényben három évente gépi betakarítást végeztünk volna, a felhasznált üzemanyag, így a légkörbe visszajuttatott szén mennyisége is magasabb értéket ért volna el. Ennek a többlet szénnek a hozzávetőleges értékét a 4. táblázat tartalmazza.

Az adatok számításához egy speciális, a fás szárú energetikai ültetvények betakarításához fejlesztett adapterrel felszerelt 600 lóerős (440 kW) Claas Jaguar 870-es járva szecskázó gépet vettünk alapul. A korábban ismertetteknek megfelelően a járva szecskázó üzemanyagigénye, valamint a normál hektár/hektár átszámítási tényező a „Mezőgazdasági gépi munkák költsége 2014-ben” című kiadvány 1/b. táblázata és a 2. számú melléklete alapján került megállapításra (Gockler, 2014). Tekintettel arra, hogy a 2. számú táblázat a normálhektár átszámítási tényezők tekintetében energetikai ültetvény betakarítására vonatkozó adatokat nem tartalmazott, a valószínűsített, hasonló mértékű energiaigény miatt a magajáró betakarítógépek munkáihoz tartozó „silókukorica járva szecskázás” műveletet választottuk számításainkhoz. Az eltelt 7 év alatt – hároméves betakarítási ciklusokat figyelembe véve – két betakarítással számoltunk.

Az eredmény alapján a két alkalommal végzett gépi betakarítás további 42,64 kg szénrel terhelte volna meg a légkört, és az összes szénkibocsátást 296,77 kg-ra emelte volna. Ez, összevetve az ültetvényben megtermel-

szénmérleg meghatározása céljából vizsgálatainkat tovább folytatjuk.

„Ez a tanulmány a Környezettudatos energiahatékony épület című TÁMOP-4.2.2.A-11/1/KONV-2012-0068 számú projekt keretében, az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.”

### Összefoglalás

Nyártermesztés szempontjából közepesen minősíthető termőhelyen létesített, rövid vágásfordulójú kísérleti energetikai ültetvényben vizsgáltuk két nemesnyár fajta, két nemesnyár fajtajelölt, két fehér fűz fajta, valamint az akác hozamát, illetve az általuk megkötött szén mennyiségét. Az ültetvény területének előkészítése, az ültetvény telepítése, ápolása és növényvédelme során alkalmazott erőgép-művelőeszköz kombinációk üzemanyag-felhasználásának figyelembe vételével meghatároztuk az ültetvény fenntartása alatt a területen történt munkavégzés során kibocsátott szén mennyiségét hektáronként. A növények által megkötött és a munkavégzés során a légkörbe visszajuttatott szén ismeretében meghatározható volt a középidejű ültetvény szénmérlege. Vizsgálataink során az egyes fajok és fajták faanyagának széntartalmuk között szignifikáns különbség nem volt kimutatható, így azok szénmegkötő képessége elsősorban az adott termőhelyen mutatott növekedési erélyükkel hozható kapcsolatba. **energetikai ültetvény / biomassza hozam / szénmérleg / termőhely**

### Summary

*Aboveground biomass yield and carbon sequestration of two hybrid poplar cultivars, two hybrid poplar candidate clones, two sil-*

*ver willow cultivars and black locust have been investigated in an experimental short-rotation coppice established on medium site conditions. Fuel consumption have been measured and determined for each combination of engines and tillage tools used during the establishment and SRC management in the first 7 years. Based on the total fuel consumption, CO<sub>2</sub> emission per hectare was calculated. The carbon balance of the energy plantation was derived from the amount of carbon bound in plants and emitted by machines. The results of the study show no significant difference between the ability of carbon sequestration of the investigated tree species and clones. Since they store nearly the same amount of carbon per unit of wood weight, differences in total carbon sequestration basically determined by differences in growth and biomass production of the plant material. **energy plantation / biomass yield / carbon balance / site conditions***

Lektorálta: Dr. Rédei Károly

### Irodalomjegyzék

- [1] Dillen, S.Y., Djomo, S.N., Al Afas, N., Vanbeveren, S. and Ceulemans, R. (2013) Biomass yield and energy balance of a short-rotation poplar coppice with multiple clones on degraded land during 16 years Biomass and Bioenergy, 56: 157-165.
- [2] Gockler L. (2014): Mezőgazdasági gépi munkák költsége 2014-ben. NAIK Mezőgazdasági Gépesítési Intézet, Gödöllő. pp. 5., 8., 13., 27.
- [3] IPCC (2000): CO<sub>2</sub> Emissions from Stationary Combustion of Fossil Fuels. Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories, Background paper. Online: [http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/bgp/2\\_1\\_CO2\\_Stationary\\_Combustion.pdf](http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/bgp/2_1_CO2_Stationary_Combustion.pdf)
- [4] McKendry, P. (2002): Energy production from biomass (part 1): overview of biomass. Bioresource Technology, 83: 37-46.
- [5] Nemzeti Fejlesztési Minisztérium (2011): Magyarország Megújuló Energia Hasznosítási Cselekvési Terve 2010-2020. Zöldgazdaságfejlesztésért és Klímapolitikáért Felelős Helyettes Államtitkárság, Budapest. pp. 199., 205.
- [6] Rédei K., Csiha I., Keserű Zs. (2011): Black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) Short-Rotation Crops under Marginal Site Conditions. Acta Silvatica & Lignaria Hungarica, 7:125-132.
- [7] Verlinden, M.S., Broeckx, L.S., Van den Bulcke, J., Van Acker, J. and Ceulemans, R. (2013) Comparative study of biomass determinants of 12 poplar (*Populus*) genotypes in a high-density short-rotation culture. Forest Ecology and Management, 307: 101-111.

**3. táblázat** Az egyes fajok, fajták és fajtajelöltek által egy hektáron megkötött szén mennyisége

	I-214	Kopeccky	Sv-879	Sv-890	Drávamenti	Express	Akác
Hozam (atrot/7 év)	40,4	30,7	43,0	43,5	17,8	39,3	37,6
Széntartalom (dm/m %)	49,5	49,8	51,1	50,6	49,9	49,4	49,9
Szénmegkötés (t/ha)	20,0	15,3	22,0	22,0	8,9	19,4	18,8

**4. táblázat** Az elvégzett gépi munkák üzemanyag-felhasználása és becsült szénkibocsátása

Művelet	Terület (ha)	Alkalom (db)	Üzemanyagigény (kg/nha - 600 LE-s járva szecskázó)	Átszámítási tényező (nha/ha)	Összes üzemanyag-felhasználás (kg)	Összes üzemanyag-felhasználás (l)	Kibocsátott szén mennyisége (kg)
Gépi betakarítás	1	2	7,50	3,25	48,75	57,89	42,64