

Magyarországon nemesített *Miscanthus sinensis* 'Tatai' „energianád”-fajta biomassza-erőművekben történő hasznosítására kialakított betakarítási rendszer bemutatása

Pintér Csaba

Nyugat-Magyarországi Egyetem Kitaibel Pál Környezettudományi Doktori Iskola, Sopron
csaba.pinter83@gmail.com

ÖSSZEFOGLALÁS

Napjaink és jövőnk egyik legnagyobb kihívása és üzleti lehetősége a megújuló energia szektor, azon belül a biomassza alapú energiatermelés megújítása, fejlesztése. A zöldenergia termelése egyre kiemeltebb szerephez jut mind az Európai Unió (EU), mind az egyes államok szintjén. Az EU tagjaként Magyarország 2020-ra 14,65%-os zöldenergia-arányt vállalt a teljes energiatermelésen belül, a 2010 végén készített Megújuló Energia Hasznosítási Cselekvési Tervben. A célkitűzés elérése érdekében egyértelműen kívánatos a megújuló energiaforrások, köztük a biomassza jelenlegi felhasználásának nagyobb fokú energetikai célú hasznosítása. A biomassza-erőművek alapanyagbázisának bővítéséhez kínálnak perspektívát a lágyszárú energianövények, köztük a hazai nemesítésű *Miscanthus sinensis* 'Tatai' (MsT) „energianád”-fajta.

A külföldi és hazai kutatók körében a *Miscanthus* fajok alacsony tápanyag-igényük, magas biomassza hozamuk és szénmegkötő képességük, valamint a szárazsággal és faggyal szemben mutatott ellenálló-képességük miatt váltak ismertté. A magyarországi éghajlati viszonyokra nemesített MsT „energianád”-fajttal kapcsolatban 2009–2014 között Komárom-Esztergom megyében Tatán és Ácson, Győr-Moson-Sopron megyén belül Nagyszentjánoson, összesen 50 ha nagyságú ültetvényeken, valamint a Komárom-Esztergom Megyei Parképitő és Kertészeti Zrt. tatai telephelyén folytak kísérletek.

A kutatás során sikerült az MsT fajta nagyüzemi méretű reprodukálására alkalmas szaporítás-technológiát kidolgozni. Ilyen módszerrel szaporított növények telepítésére került sor például 2012-ben, Szabadegyházán. Az ültetvények létrehozása egyszerű paprikapalántázó gép használatával történt, amellyel egyidejűleg négy sor ültetése lehetséges. A nemzetközi irodalomban leírt, fejlettebb megoldások feltárására, alkalmazására forráshiány miatt nem nyílt lehetőség.

A 2009–2012 között zajló, betakarítási technológia kialakításával kapcsolatos kísérletek eredményeként egymásra épülő lépésekből álló módszer kidolgozása valósult meg, melyek a szárúzás, rendszórás, bálázás, az elkészült bálák átpozicionálása, és a bálák végfelhasználóhoz történő beszállítása. A technológia fejlesztése érdekében a jövőben korszerűbb, magas nyomású bálázó (HDP II) gépek használatát tűztem ki célul a bálák tömegének növelése érdekében. Ezekkel a gépekkel szabvány méretű, a korábbiakkal egyező térfogatú, de nagyobb tömegű bálák készíthetők, ami csökkenti az egy tonnára vetített szállítási költséget.

Kulcsszavak: *Miscanthus sinensis* 'Tatai', megújuló energiaforrás, erőműi hasznosítás, betakarítási technológia

SUMMARY

The increasing demand for energy worldwide and the resulting environmental impacts of fossil fuels forced many countries to turn to renewable energy resources as a clean and sustainable alternative. More than a third of Europe's binding renewable energy source target of 20% by 2020 will come from solid biomass for electricity and heating according to the National Renewable Energy Action Plans submitted by member states of the European Union (EU) to the European Commission. To achieve this goal long-term yield studies in renewable energy plants are important to determine mean annual biomass and energy yield, and CO₂ emission. Field experiments worldwide and also in Europe have demonstrated that *Miscanthus*, a fast-growing C4 rhizomatous grass can produce some of the highest biomass and energy yield per hectare of all potential energy plants. *Miscanthus* is a plant that originates from the southern slopes of the Himalayas. It was bred for the Hungarian climatic conditions in 2006 under the name of *Miscanthus sinensis* 'Tatai' (MsT). The species has high frost and drought tolerance and high energy value. This is why there is growing demand for the biomass (lignocellulose) produced by growing this plant. The biomass, produced from the high yield energy reed, can be transported to power plants in large quantities, in forms of bales. Its household consumption is not yet significant. This study presents the external features, characteristics, propagation and plantation process of MsT energy reed. The study also demonstrates the harvest technology of the species worked out between 2009–2012 in Tata, Hungary and the options of supplying to biomass power stations.

Keywords: *Miscanthus sinensis* 'Tatai', renewable energy source, power plant consumption, harvesting technology

BEVEZETÉS

Napjaink, és jövőnk egyik legnagyobb kihívása és üzleti lehetősége a megújuló energia szektor, azon belül a biomassza alapú energiatermelés megújítása, fejlesztése. Az ellátásbiztonság növelése, a környezetvédelem, és gazdaságélénkítés igénye ebbe az irányba mutatnak. A zöldenergia termelése egyre kiemeltebb szerephez jut mind az Európai Unió (EU), mind az egyes államok szintjén. Az EU törekvései révén is a tiszta, megújuló energiaforrásokat preferálja. A közös-

ségi energiapolitikai célok közé bekerült a megújuló energiatermelés arányának növelése. Az EU fokozatosan emeli a tagállamokkal szemben a zöldenergiák használatára vonatkozó elvárásait, 2020-ra közösségi szinten a teljes energiatermelésben 20%-os megújuló arány elérését jelölték meg célként (Toljan et al. 2012, Fodor 2013, Lipcsei 2013). Magyarországon is magas szintű energiasztratégiai prioritás a megújuló energiatermelés arányának növelése. Ezt bizonyítja, hogy a magyar kormány a hazánk számára előírt EU-s elvárás (2020-ra 13%) meghaladó, 14,65%-os zöldenergia-

arányt vállalt a 2010 végén készített Megújuló Energia Hasznosítási Cselekvési Tervben. A teljesítéshez a jelenlegi megújuló energia termelőkapacitások gyarapítása, fejlesztése szükséges. A szektor növekedési lehetőségei tehát igen biztatónak mondhatók (Fodor 2013).

Hazánk energiafüggőség tekintetében a térség egyik legkiszolgáltatottabb országa. A földgáz nagymértékű importja az utóbbi évek tapasztalatai alapján aggasztó méretű függőséget jelent. A nemzetközi és hazai energiapolitikai helyzet, az EU tagországok, így Magyarország számára is megfogalmazott célkitűzések egyértelműen a megújuló energiaforrások, köztük a biomassza jelenlegi felhasználásának nagyobb fokú energetikai célú hasznosítását kívánják meg. Ennek érdekében a fosszilis energiahordozók használatának jelentős mértékű csökkentésére, radikális változásra van szükség, melyhez az alternatív energiákat célzó, megalapozott, többszintű kutatásokon nyugvó eredmények, előrejelzések, vizsgálatok és beruházások szükségesek (Ivelics 2006).

A közösségi energiapolitikai célok elérése érdekében az Európai Unióban a különböző kapacitású erőművek egyre nagyobb hányada az energianövények felhasználására alapozott új blokkokat fejleszt, ami a jövőben várhatóan növekvő igényt generál a természet biomassza-energiahordozók, köztük a lágyszárú energetikai célú ültetvények felhasználása iránt. A biomasszát hasznosító hőközpontok és biomassza-erőművek potenciális nagybeszállítói elsősorban az erdészetek, mezőgazdasági termelők, és a települési önkormányzatok سراiból kerülnek ki, de fűrészüzemek és bútorgyárak is ide tartozhatnak (Pintér et al. 2009). A lignocellulóz biomassza, mint tüzelőanyag természetű, megújuló, nagy mennyiségben rendelkezésre álló energiaforrás (Pintér 2015). Hőtermelés során lakásainkban szinte bármilyen szántóföldről származó alapanyaggal fűthetünk, de leginkább a kifejezetten energetikai célra termesztett növények alkalmasak tüzelőanyagnak (Energiacentrum 2011).

A biomassza-erőművek alapanyagbázisának bővítéséhez kínálnak perspektívát a lágyszárú energianövények, köztük a hazai nemesítésű *Miscanthus sinensis* 'Tatai' (MsT) „energianád”-fajta. Jelen tanulmány az MsT külső jegyeinek, szaporítás- és telepítés-technológiájának ismertetését követően bemutatja a növény legfontosabb termesztési és Tatán kidolgozott, egyik lehetséges betakarítási technológiáját.

IRODALMI ÁTTEKINTÉS

Az utóbbi két évtizedben számos kísérletet folytattak külföldi és hazai kutatók energetikai célra létrehozott *Miscanthus sinensis* és *Miscanthus x giganteus* ültetvények létesítésével kapcsolatban. Ennek alapvető oka, hogy a világ lignocellulóz felhasználásában a lágyszárú energetikai ültetvények iránt megemelkedett a kereslet, valamint a globális környezetvédelmi kihívások miatt a biomassza bázisú energiatermelés alapanyagigénye rohamosan növekszik. A hőenergiát termelő fűtőművek, a villamos energiát termelő erőművek, valamint a lakosság megnövekedett biomassza alapú energiahordozó igénye kielégíthetetlen csupán a hagyományos erdőgazdálkodásból származó dendromasszából (fás szárú lignocellulóz) (Ivelics 2006).

A világban nagy számban található példát *Miscanthus sinensis*, és *Miscanthus x giganteus* „energianád” ültetvények létesítésével, üzemeltetésével összefüggő kísérletekre. Európán belül Németországban, Ausztriában, az Egyesült Királyságban, Szlovákiában, Luxemburgban, Dániában, Svédországban, Olaszországban, Magyarországon zajlottak és zajlanak jelenleg is kísérletek. Európán kívül az Egyesült Államokban, Afrikában, Japánban kísérleteznek *Miscanthus* ültetvények üzemeltetésével.

A következő kutatók foglalkoztak *Miscanthus sinensis* és *Miscanthus x giganteus* fajokkal a teljesség igénye nélkül: Angelini L. G., Brosse N., Christian D. G., Clifton-Brown J. C., Ercoli L., Heaton E. A., Horváth Zs., Larsen S. U., Lewandowski I., Lygin A. V., Marosvölgyi B., Meehan P. G., Miguez F. E., Nishiwaki A., Petersen K. K., Toljan I., Vasco J.

ANYAG ÉS MÓDSZER

A *Miscanthus sinensis* 'Tatai' „energianád”-fajta bemutatása

A *Miscanthus* – más néven kínai nád, japánfű, „energianád” – távol-keleti eredetű, a Himalája délkeleti lejtőiről származó, rizómával/gyöktörzsszel rendelkező C4-es növény, amely rokonságban áll a cukornáddal (Faix et al. 1989, Lewandowski és Kicherer 1997, Petersen et al. 2002). Az 1930-as években jelent meg Európában. Néhány évtizeddel később, az 1980-as években kezdték széles körben tanulmányozni (Brosse et al. 2012). A külföldi és hazai kutatók körében alacsony tápanyag-igénye, magas biomassza-hozama és szénmegkötő képessége miatt vált népszerűvé (Lewandowski et al. 2003, Stewart et al. 2009, Sacks et al. 2013). A növény Ázsia változatos klimatikus részein megfigyelt, szárazsággal és faggal szemben mutatott ellenálló képessége miatt is számos kísérlet zajlik Európában (Clifton-Brown et al. 2008, Hastings et al. 2009). Nem tartozik a hagyományos mezőgazdasági kultúránövények közé. A korlátozott számú, és drágán reprodukálható *Miscanthus x giganteus* genotípusokkal szemben a *Miscanthus sinensis*-t viszonylag egyszerű szaporítás-technológiája, biológiai sokszínűsége teszi vonzóvá (Christian et al. 2005, Clifton-Brown et al. 2011, Nishiwaki et al. 2011, Dwiyantri et al. 2014). A *Miscanthus sinensis* 'Tatai' „energianád”-fajtát 15 éves kutatómunka eredményeként prof. dr. Marosvölgyi Béla és Pintér Zoltán erdőmérnök kifejezetten a magyarországi éghajlati viszonyokra optimalizálta, szelektálta. A növényt 2006-ban az Országos Mezőgazdasági Minősítő Intézet önálló fajtaként jegyezte be.

Az MsT egyenes, nádszerű szárai vékonyak, kemények, nem elágazóak, belül szivacsosak, átmérőjük átlagosan 10 mm. A növény hajtásainak magassága a telepítést követő első év végére eléri az 1–1,5 m-t, az utána következő években pedig a 3–4 m-es magasságot is (Marosvölgyi 2001a, Bai et al. 2002). Az első évi alacsonyabb növekedés oka az, hogy a növény a földalatti szaporító hajtásait (rizómák), illetve gyökérrendszerét fejleszti, ami igen intenzíven felhasználja a növény energiáit. A teljes érettséget csak a harmadik, negyedik évben éri el. A növény gyökérrügyei vastagok, erőteljesek a növekedési csúcstól, illetve a földalatti

rizómákon is található rejtett rügyek, amelyek mint alvórügyek, csak egy rendkívüli elfagyás esetén hajtanak ki (Marosvölgyi és Horváth 2010). A rizómák rendkívül elágazó, hatékony raktározó rendszert képeznek, a gyökerek mélyen, kb. 1 m-re hatolnak a talajba. A növény föld feletti szárrésze minden évben ősszel elszárad, a következő évben a rizómákból új szárazakat növeszt (Pintér 2015).

A telepítést követő első esztendőben a hajtásszám 5–8 db, a hektáronkénti hozam 2–3 t zöldanyag. A második évben a hajtások száma lényegesen nagyobb lesz (15–25 db), a szármagasság 1,5–2 m, a hozam 5–10 t hektáronként. A harmadik évben a tövek átmérője már közel 1 m-es, a hozam 10–15 t/ha zöld anyag. A negyedik–ötödik évben az állomány záródik, ideális adottságok mellett beáll, nagyjából homogénné válik, a tövek átmérője 1–1,5 m-ben állandósul. A következő évek során a növény 20–25 t/ha zöldanyag hozamot produkálhat, termőhelytől és időjárási körülményektől függően (Pintér 2015). Az 1. ábra első éves MsT ültetvényt mutat be.

1. ábra: Első éves MsT ültetvény (Tata, 2009)



Figure 1: 1st year old MsT plantation (Tata, 2009)

A betakarításra érett *Miscanthus* biomasszájának fő elemi összetevői a következők: C: 47,1–49%; H: 5,38–5,92%; O: 41,4–44,6% (Lewandowski és Kicherer 1997, Hodgson et al. 2011, Lygin et al. 2011).

Számos kutató számolt be nemzetközi folyóiratokban az Egyesült Államokban, Olaszországban, Angliában, Németországban végzett *Miscanthus giganteus* és *Miscanthus sinensis* fajokkal kapcsolatos, több éven át tartó kísérletek alapján az ültetvények változatos hozamadatairól, különböző mennyiségű N-tartalmú műtrágyák talajba juttatása esetén (Ercoli et al. 1999, Christian et al. 2008, Heaton et al. 2008, Dohleman és Long 2009, Miguez et al. 2009). Mivel a kutatók között nincs egységes konszenzus a N-műtrágya talajba juttatásának az ültetvények biomassza-hozamára gyakorolt pozitív hatását illetően, ezért, illetve környezetvédelmi szempontok miatt MsT-re vonatkozóan nem történt ilyen jellegű kísérlet az ültetvények üzemeltetése során.

A növény az égetésekor káros emissziókat képező anyagokból – Cl: 0,9–1,0%; S: 0,8–0,9% – az egyéb lágyszárú növényekhez viszonyítva keveset tartalmaz. A kémiai szempontból fontos alkotók aránya kedvező: cellulóz: 32–34%, pentozán: 28–29%, lignin: 14–15%,

hamu: 3–9,5%. A hamutartalom a növény törészetének korától és a levélmennyiség arányától függően változik. A különféle *Miscanthus* fajok sejtfal-alkotóira vonatkozóan változatos adatokat találhatunk a szakirodalomban. A cellulóztartalom 43,18–52,2%, a lignin mennyisége 9,23–10,32%, míg a hamutartalom 2,22–3,19% között alakul (Hodgson et al. 2011).

Tüzeléstechnikai szempontból fontos jellemző a fűtőérték, amely az MsT esetében viszonylag magas, átlagosan 17,8 MJ/kg (Marosvölgyi 2001b). Ezt összehasonlítva *Miscanthus x giganteus* nemzetközi szakirodalomban jegyzett fűtőértékével (17–20 MJ/kg), elmondható, hogy a két fajta fűtőértéke közel megegyezik (Brosse et al. 2012). Jól ég, termikus és fermentációs folyamatokban intenzíven gázosodik. A hagyományos – aprítékként kazánokban történő – elégetése mellett jól felhasználható energetikai tömörítvény (brikett, pellet) előállításához is.

Számos tudományos folyóiratban írnak kutatók a *Miscanthus sinensis* és *Miscanthus x giganteus* fajok időjárással szembeni ellenálló képességéről (Clifton-Brown et al. 2008, Hastings et al. 2009). Az MsT szárazságtűrése és fagyállósága kiemelkedő, kísérletek során a rizómák -22,5 °C fagyot is túléltek. Az energianád a vad számára nem jelent táplálékot, az ültetvényeken vadkár nem lép fel. Az Egyesült Királyságban zajlott kísérletek során vizsgálták a *Miscanthus* különböző madárpopulációk életére gyakorolt hatását. A kutatás eredményeképpen megállapították, hogy *Miscanthus* ültetvények által kínált menedék vonzó és hasznos lehet a szántóföldi madarak számára (Bellamy et al. 2009). Az MsT „energianádnak” nincs jelenleg ismert károkozója, vagy allergén hatása. Nedvességtartalma a tavasszal történő betakarításkor 8,5–15%, élettartama 20–25 év. A *Miscanthus sinensis* ’Tatai’ CO₂ neutrális energiahordozó. Fejlődése során ugyanannyi CO₂-ot épít be szövetébe, mint amennyi elégetésekor a légkörbe jut. Energetikai célú hasznosítása fosszilis energiahordozókat helyettesíthet (Marosvölgyi 2001a, Anonymous 2006 in: Bellamy et al. 2009, Hastings et al. 2008).

A kutatás módszerei

A kutatás során a *Miscanthus sinensis* ’Tatai’ „energianád”-fajta betakarítási technológiájának kialakítása, fejlesztése volt a célom. A módszerrel szembeni alapvető kritérium az volt, hogy eredményeképpen az MsT ültetvényekről letermelt nád a biomassza-erőművek kazánjaiban történő elégetésre alkalmas formában álljon rendelkezésre, vagyis megfelelően a végfelhasználók által, a tüzelési alanyaggal szemben támasztott formai, minőségi, kezelhetőségi követelményeknek. A technológia egyes lépéseinek összeállítása 2009–2012 között történt, javítása jelenleg is zajlik (Pintér 2015). A kutatási tevékenység gyakorlati jellegű volt, a Komárom-Esztergom megyében, Tatán, Acson, illetve Győr-Moson-Sopron megyében Nagyszentjános térségében elhelyezkedő, a Komárom-Esztergom Megyei Parképítő és Kertészeti Zrt. tulajdonában álló, három nagyobb egységen elterülő, 50 ha nagyságú, 2–3–4 éves MsT energianád ültetvényen végeztem.

Gyakorlati és laboratóriumi jellegű kutatás történt az MsT szaporítás-technológiájának tökéletesítése so-

rán. A laboratóriumi munkák nagyrészt a Nyugat-Magyarországi Egyetem (NYME), Erdőmérnöki Kar EMKI Energetikai Tanszéke-, illetve a NYME Kooperációs Központjának (és partnereinek) laboratóriumaiban folytak. A gyakorlati kutatás a Komárom-Esztergom Megyei Parképitő és Kertészeti Zrt. tatai telephelyén zajlott.

Adatgyűjtés jellegű kutatást végeztem különböző európai országokban nemesített *Miscanthus sinensis* és *Miscanthus giganteus* „energianád”-fajok betakarítására kifejlesztett és alkalmazott technológiák megismerése érdekében.

Kísérlet és gyakorlat jellegű kutatás történt az 1 ha „energianád”-ültetvény szántóföldön történő telepítésekor ajánlott növény-egység szám meghatározásánál.

EREDMÉNYEK

Az MsT szaporítás-technológiája

Német kutatók már 1996-ban ipari hasznosítású növények automatizált szaporítás-technológiájával kapcsolatos kísérleteket folytattak (Otte et al. 1996). Hazánkban ilyen fejlett technológiai háttér energianád sokszorosítására még nem áll rendelkezésre. A különféle *Miscanthus* fajok szaporítása magvakkal, vagy vegetatív úton végezhető. A magvakkal végzett szaporítás olcsó, itthoni körülmények között azonban nem alkalmazható, mert a hazai fajták (*Miscanthus sinensis* 'Tatai', *Miscanthus sinensis* 'Halmaj') magot nem teremnek, ezért csak külföldi magvak vehetők számításba. A különböző országok eltérő időjárási adottságaira nemesített fajták magjából nyert növények számára a hazai klíma azonban nem ideális (Marosvölgyi és Horváth 2010).

A vegetatív szaporítás tőosztással (rizómákkal) és mikroszaporítással végezhető. A tőosztásos módszer idő- és élőmunka-igényes, de komoly szaktudást nem igényel és alkalmazásával erős szaporítóanyaghoz jutunk. Ennél az eljárásnál a földből kiemelt és letisztított 2–3 éves, kb. 1 m átmérőjű nádtövet baltával, majd metszőollóval feldaraboltam. Az így keletkező kis tördarabok 2–3 rizómából és az azokon lévő apró rügyekből álltak. A töveket 2–3 hónapig virágfölddel töltött nevelőedényekben neveltem, majd azok a gyökerecsédést, 10–15 cm-es növekedést követően kiültethetővé váltak (Horváth et al. 2009a).

MsT nagyüzemi szaporítására napjainkban ugyanaz a mikroszaporításos eljárás alkalmazható a leghatékonyabban, amely a *Miscanthus x giganteus*-nál is bevált. A laboratóriumi körülmények között előállított, az eredeti fajta génállományával teljesen megegyező, gyökérmosott, 3–4 cm-es növényeket pikírozzák, majd 2–3 hónapos nevelés során többszöri – egyre nagyobb átmérőjű (5–10 cm átmérőjű) nevelőedényekbe történő – átültetéssel megerősítik. A növények 2–3 hónap alatt 10–15 cm magasságúra nőnek. Az ilyen fejlettségi fokot elérő palánták kiültethetők (Marosvölgyi 2001a, Horváth et al. 2009b). A 2. ábra mikroszaporított MsT növényeket mutat be.

MsT ültetvény telepítése

A növény telepítését tavasszal – a talaj menti fagyok megszűnését követően – vagy ősszel végzik pa-

lántázógép használatával. Egy hektár előkészített szántóra 10–12 ezer db palántát/rizómát ültetnek, vagyis négyzetméterenként egy darabot. Dániában, 1997–2012 között zajló kísérletek során megállapították, hogy *Miscanthus* telepítésekor kisebb sortávolság hagyása mellett (18 000 db palántát ültettek 12 000 db helyett egy hektár területen) nagyobb átlagos éves hozam érhető el (Larsen et al. 2013). A palánták telepítésekor 10–15 cm magasak, a rizómák 4–5 cm hosszúak. A szaporítóanyag ültetése akkor ideális, ha az ültetési mélységben a talaj hőmérséklete 10 °C-nál magasabb (április-május eleje). A túl száraz időjárás legalább annyi kárt tehet az ültetvényben, mint a rendkívül csapadékos. MsT rizómával történő telepítés során célszerűbbnek bizonyult magasabb számú egyed a talajba juttatni, mert ezek a palántákhoz képest kevésbé erősek, ellenállóak. A telepítés alkalmával hagyományos zöldsempalántázó gépet erőgéppel (traktor) vontat. A palántázón, típustól függően, 4–6 ember foglal helyet, így egy hossz megtételével ugyanennyi, egymással párhuzamos sor telepítésére van lehetőség. A kísérletek során 8 órás munkanapok alatt átlagosan 5–7 ha terület MsT-vel való betelepítése valósult meg. Javasolt a szaporítóanyagot telepítés előtt beöntözni, beáztatni.

2. ábra: Mikroszaporított MsT növények (Tata, 2009)



Figure 2: MsT plants after microreproduction (Tata, 2009)

A betakarítás időpontja

A *Miscanthus sinensis* 'Tatai' évelő növény, minden év végén, a tél beköszöntével elhullatja leveleit, és elszárad. Betakarítását évente egyszer végzik (Vasco és Li 2015). A munka általában kora tavaszi időszakban, a talaj menti fagyok megszűnését követően indul, de több példa található késő ősszel, illetve télen történő betakarításra is. Tatán, Ácson és Nagyszentjánoson létrehozott MsT ültetvényeken április-május tájékan, száraz időjárási körülmények között történik az energianád betakarítása. Ez az időszak több okból is megfelelő a betakarításhoz. A technológiához használható mezőgazdasági gépek kihasználtsága az évnek ebben a részében alacsonyabb a nyári-őszi időszakhoz képest, ezért szélesebb körben áll rendelkezésre bér munkaező, bér gép. A talaj ilyenkor általában szilárd, az erő- és munkagépek által jól járható, ebből kifolyólag a talajban levő rizómák károsodása is elhanyagolható. Az időjárás ideális esetben csapadékszegény (Pintér 2015).

Esős, csapadékos időjárás esetén a nád elázik, nedvesgégtartalma emelkedhet, továbbá a mezőgazdasági gépek is csak nehezen képesek, vagy egyáltalán nem tudnak a puha, nedves talajon dolgozni.

A késleltetett, tavaszi betakarítás előnye, hogy a természetes száradás következtében jelentős mértékben csökken a növény nedvesgégtartalma, ergo emelkedik a növény szárazanyag-aránya (Lewandowski és Heinz 2003, Meehan et al. 2013). A késő őszi betakarítás elhagyásával a tél során a növényben felhalmozott tápanyagok visszahúzódnak a nád rizómáiba. A tavaszi száradás, illetve nagymértékű levélhullajtás következtében a téli állapothoz képest 30–50%-kal is csökkenthet a szárazanyag-tartalom (Lewandowski és Clifton-Brown 2000, Heaton et al. 2004). Ha biomassza-erőművek alapanyag-ellátásának céljából természetünk energianádat, akkor célszerű tavasszal, meleg, száraz időben elvégezni a biomassza letermelését, mert a biomasszát égető különböző erőművek általában a beszállított termék nedvesgégtartalmához igazítják a termelő részére fizetett átvételi árat, bonifikációs szorzó alkalmazásával. Ez azt jelenti, hogy minél alacsonyabb a termék nedvesgégtartalma, annál magasabb árat fizetnek érte. Leggyakrabban a biomassza-erőművek 12–15%-os nedvesgégtartalom között határozzák meg az átvételi bázisárat. Az ettől lefelé történő eltérés esetén plusz pénzt kap a beszállító, felfelé történő eltérés – vagyis nedvesebb áru beszállítása – esetén lefelé korrigálják az átvételi árat (Pintér 2015).

A betakarítási technológia bemutatása

A *Miscanthus sinensis* 'Tatai' „energianád” Tatán kidolgozott betakarítási módja lehetővé teszi a hazai, energianád-ültetvényekről letermelt biomassza különböző erőművek kazánjaiban való elégetését, mert az alkalmazásával nyert „energianád” bálák megfelelnek a végfelhasználók (erőmű) által a felhasznált tüzelési alapanyaggal szemben támasztott minőségi, formai, kezelhetőségi követelménynek. Az MsT betakarítása a következő részfolyamatokból áll: szárzúzás, rendsodrás, bálázás, majd következik a logisztikai műveletsor, tehát a már megkötött bálák területről való lehordása – összekapcsolva a kamionra rakással – és a biomassza végfelhasználóhoz történő elszállítása (Pintér 2015).

Szárzúzás, rendsodrás, bálázás

Az energianád hosszú, 3–4 m-es szárainak bálázható méretűvé (15–75 cm) alakítását szárzúzó végzi. A gép a szárazakat a talajszint felett 10–15 cm-es magasságban vágja el, 1,5 m-es szélességben. Vágás közben zúzás, aprítás történik. Kísérletek során legalkalmasabbnak egy RZ-2 Z119/Z010-es típusú szárzúzó bizonyult, amit MTZ-820-as traktor vontatott (Pintér 2015).

A szárzúzást következtében a felaprított nád vastag, 10–12 cm-es rétegben (paplan) terül el a földön. A télen lehullott levelek mennyisége igen jelentős. A vágás-területet betérítő nádzúzalékot és levelet rendezett sorokba fésülve kell előkészíteni a bálázásra. Az MsT ültetvények betakarításának második lépése a rendsodrás. Class Liner 390 típusú, kardános rendsodrot használtunk, amit Massey Ferguson 5435-ös erőgép hajtott meg. Ez a gépsor megbízhatóan dolgozik, közel 1 m magas rendeket készít. A gyakorlati kísérletek során

kiderült, hogy a nádtöveken megmaradó, 10–15 cm hosszúságú szárazak kiszúrhatják a rendsodró levegővel felfújt gumibroncsait, ezért azokat javallott tömör gumikerekekre cserélni. A vontató erőgépek esetében nem fordult elő ilyen jellegű probléma.

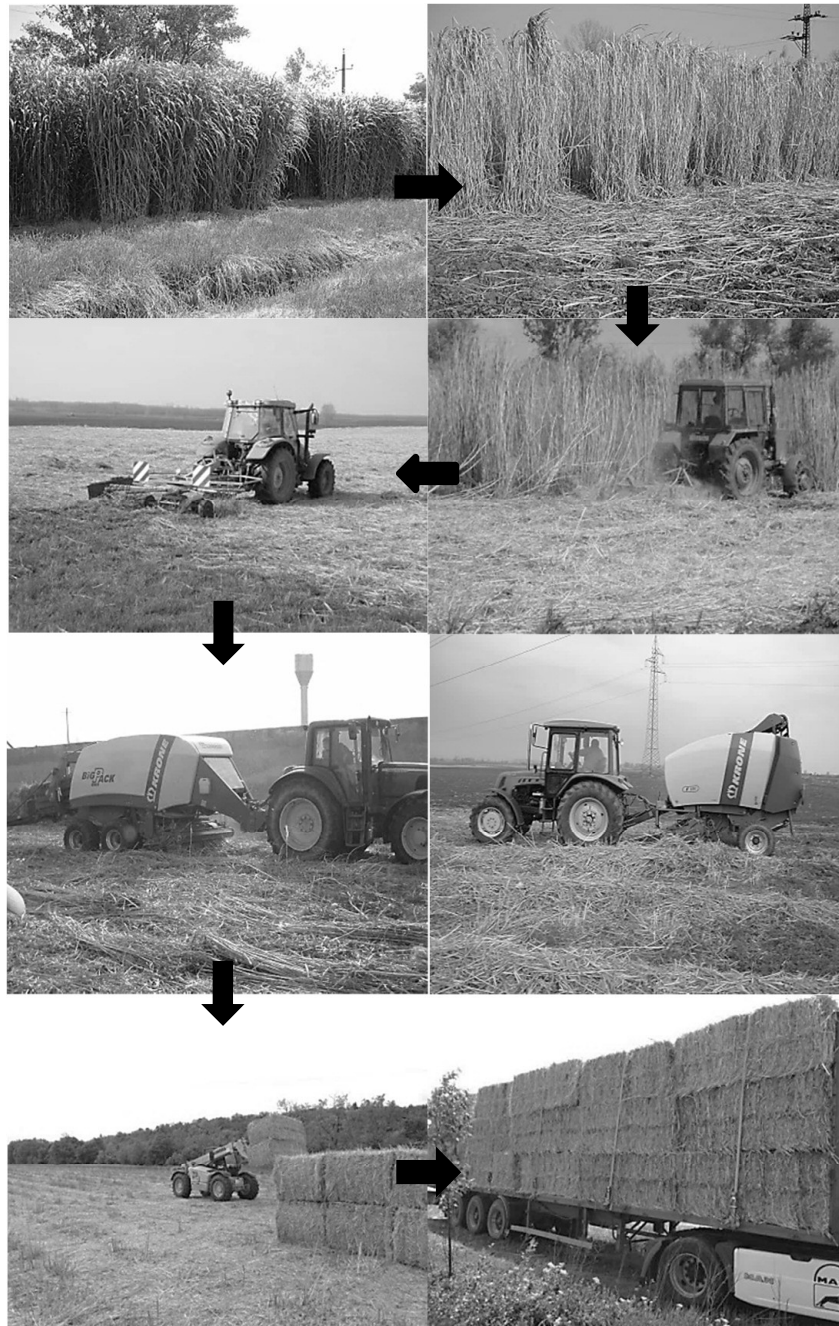
A nemzetközi szakirodalomban már fejlettebb megoldásokról olvashatunk. Az Egyesült Államokban például a szárzúzást speciálisan erre a célra kialakított vágófejvel felszerelt, 4,7 m-es vágószélességű, New Holland H8080 (168 kW, 750 HD Specialty Head) típusú önjáró rendképzővel végzik (Mathanker és Hansen 2015). Ennek a gépnek a használata során összekapcsolódik, egymenetessé válik a szárzúzás-rendsodrás részfolyamat, ami a betakarítás egészét szemlélve – a két munkarész szétbontásához képest – jelentősen lerövidíti azt.

MsT energianádból hasábbála és hengerbála készült. A bálázást megelőző munkafolyamat – a nád bálázhatóvá alakítása – a végtermék formájától függetlenül megegyezik (szárzúzás, rendsodrás). Hasábbála készítéséhez Krone BigPack HDP típusú, magas nyomású kockabálázót használtunk. A 2009–2012 között végzett, különböző gyártmányú, típusú bálázókkal folytatott kísérletek során ez bizonyult a legmegbízhatóbbnak, továbbá a legtömörebb, legnagyobb tömegű bálákat kötötte. A gépet 270 lóerős (200 kW) John Deere traktor vontatta. A Krone BigPack bálázó szabvány méretű – 220 cm×70 cm×110 cm-es –, átlagosan 400 kg tömegű MsT bálákat készített, átlagosan 45 mp-ként egy darabot (Pintér 2015).

Hengerbála Krone F155-ös hengerbálázóval készült. A bálázót 75 LE-nél nagyobb (55 kW) teljesítményű traktor képes működtetni. A kísérletek során Belarus 820.2-es erőgép vontatta a bálázót, ami szabványos, 150 cm×120 cm-es méretű, 270 kg tömegű bálákat kötött. Átlagosan 27 mp-be teltt egy darab bála elkészítése (Pintér 2015).

A bálák mozgatása, kamionra rakása

A bálákat – legyen szó hasáb- vagy hengerbálákról – érdemes 10–12 db-os depókba összehordani az ültetvényen. Ezt a műveletet Hitachi, Bobcat vagy Manitou típusú munkagépek végzik. A bálákat kettesével célszerű mozgatni, bálafogó tuskék használatával. A depók ültetvényen történő kialakításával jóval kevesebbet kell forognia a munkagépeknek, mintha azokat az ültetvény szélére hordanák le, így idő csökkenthető és költség takarítható meg. Száraz időjárási körülmények között a közúti közlekedésben még részt vevő legnagyobb, 24 t összteherbírású kamionok zökkenőmentesen, a növényekben tett kár nélkül képesek ráhajtani az ültetvényekre a depókban álló bálák felrakódása céljából. A kamionra rakást szintén Hitachi, Bobcat, vagy Manitou típusú munkagépek végzik, egyszerre két bálát mozdítanak meg. Általában 35–40 perc elég egy munkagépnek egy kamion megrakásához. A bálák lekötése, biztosítása 10–15 percbe telik. A 3. ábra az MsT betakarítási technológiájának különböző, egymásra épülő műveleteit mutatja be. Az ábrán RZ-2 Z119/Z010-es típusú szárzúzó, MTZ-820-as típusú erőgép, Class Liner 390 típusú, kardános rendsodró, Massey Ferguson 5435-ös erőgép, Krone BigPack HDP és Krone F155-ös típusú bálázók, Manitou típusú rakodógép szerepelnek (Pintér 2015).

3. ábra: A *Miscanthus sinensis* 'Tatai' betakarítási technológiájának műveletsora (Tata, Ács, 2009–2012)Figure 3: The harvest process of *Miscanthus sinensis* 'Tatai' (Tata, Ács, 2009–2012)

A bálák biomasz-erőművekhez történő elszállítása

A közúti forgalomban részt vevő legnagyobb, 24 tonna teherbírású kamionra 46 db MsT-ből készített hasábbálát (~400 kg/db), vagy 34 db MsT hengerbálát (~270 kg/db) lehet biztonságosan felrakodni. Az egy fordulóval beszállítható összmenyiség így előbbi esetben 18–19 t, utóbbiban kb. 9 t volt, ami jelentős különbség. Azonos méretű pótkocsi esetén minél nagyobb az adott térfogatú bála tömege, annál nagyobb össz-tömegű biomasszát rakhatunk fel, ergo csökken az egy tonnára vetített szállítási költség. Ezt szem előtt tartva jelentős összegeket spórolhatunk meg a szállítási kapacitás maximális kihasználtságára törekedve. A hazai biomasz tüzelésű erőművek a hasábbálák formájába tömörített tüzelési alapanyagot preferálják – szinte

kizárólag hasábbálát vesznek át –, mert kezelése, szállítása, újrapozicionálása jóval egyszerűbb, mint hengerbála esetében (Pintér 2015). A Tatán, Ácson és Nagyszentjánoson található, 50 ha nagyságú MsT ültetvényekről az évente egy alkalommal letermelt, potenciálisan hasznosítható biomasz mennyisége a 2009–2014 között folytatott kísérletek tapasztalatai alapján, átlagosan 500–600 t/év szárazanyag volt. A különböző életciklusú MsT ültetvények átlagos éves hozama nem mutat szignifikáns eltérést a nemzetközi irodalomban jegyzett, különböző országokban tevékenykedő tudósok által lebonyolított kísérletek alapján publikált hektáronkénti szárazanyag-tartalomra vonatkozó értékektől (Clifton-Brown et al. 2007, Angelini et al. 2009, Arundale et al. 2013, Lesur et al. 2013).

KÖVETKEZTETÉSEK

Az MsT betakarítási technológiájának megválasztását és a további lehetséges fejlesztési irányokat a különböző biomassza-erőművek tüzelési alapanyagokkal szemben támasztott igényei határozták meg (Pintér 2015). A 2009–2012 között zajló kísérletek eredményeként különböző, de egymásra épülő lépésekből álló rendszer kidolgozása valósult meg. Ezek a szárzúzás, rendsodrás, bálázás, az elkészült bálák átpozicionálása, és a bálák végfelhasználóhoz történő beszállítása.

Elmondható, hogy a Tatán kidolgozott technológia nemzetközi összehasonlításban korántsem számít fejlettnak. A hazai, forráshiánnyal küzdő környezetben, a mezőgazdaságban már jól bevált gépek használatára alapozva, mégis gördülékenyen működő technológia állt össze, amely alkalmazásával 50 km-es körzetben

elterülő, összesen 50 ha térmértékű „energianád” ültetvényen termesztett biomassza kb. 2 hét leforgása alatt betakarítható.

A módszer továbbfejleszthető, javítható. A szárzúzás – rendsodrás – bálázás munkafolyamatok külföldön már jól ismert összevonásával, egy menetes betakarító gépek alkalmazásával redukálhatjuk a betakarítási időt, illetve csökkenthetjük az egész folyamat összköltségét. A bálák tömegének növelésével, korszerűbb, magas nyomású bálázó gépek munkába állításával azonos térfogatú, de nagyobb tömegű bálák készíthetők, ami nem mellékesen az egy tonnára vetített szállítási költséget csökkentő tényező. Ha a hazai erőművek apríték formájában is fogadnák az MsT energianádat, úgy Claas Jaguar, vagy New Holland járva szecsckázók segítségével szintén leegyszerűsödne, felgyorsulna a nád betakarítása (Pintér 2015).

IRODALOM

- Angelini, L. G.–Geccarini, L.–Di Nassa, N. N. O.–Bonari, E. (2009): Comparison of *Arundo donax* L. and *Miscanthus x giganteus* in a long-term field experiment in Central Italy: analysis of productive characteristics and energy balance. *Biomass Bioenerg.* 33. 4: 635–643.
- Anonymous (2006): The renewables obligation order 2006. Statutory Instrument 2006 No. 1004. London: HMSO.
- Arundale, R. A.–Dohleman, F. G.–Heaton, E. A.–McGrath, J. M.–Voigt, T. B.–Long, S. P. (2013): Yields of *Miscanthus x giganteus* and *Panicum virgatum* decline with stand age in the Midwestern USA. *GCB Bioenergy.* 6: 1–13.
- Bai A.–Lakner Z.–Marosvölgyi B.–Nábrádi A. (2002): A biomassza felhasználása. Szaktudás Kiadó Ház Rt. Budapest.
- Bellamy, P. E.–Croxtton, P. J.–Heard, M. S.–Hinsley, S. A.–Hulmes, L.–Hulmes, S.–Nuttall, P.–Pywell, R. F.–Rothery, P. (2009): The impact of growing *Miscanthus* for biomass on farmland bird populations. *Biomass and Bioenergy.* 33: 191–199.
- Brosse, N.–Dufour, A.–Meng, X.–Sun, Q.–Ragauskas, A. (2012): Biofuels, Bioprod. Bioref. 6: 580–598.
- Christian, D. G.–Richie, A. B.–Yates, N. E. (2008): Growth, yield and mineral content of *Miscanthus x giganteus* grown as biofuel for 14 successive harvests. *Industrial Crops and Products.* 28: 320–327.
- Christian, D. G.–Yates, N. E.–Riche, A. B. (2005): Establishing *Miscanthus sinensis* from seed using conventional sowing methods. *Ind. Corps Prod.* 21: 109–111.
- Clifton-Brown, J. C.–Breuer, J.–Jones, M. B. (2007): Carbon mitigation by the energy crop, *Miscanthus*. *Glob. Chang. Biol.* 13. 11: 2296–2307.
- Clifton-Brown, J. C.–Chiari, Y. C.–Hodkinson, T. R. (2008): *Miscanthus*: genetic resources and breeding potential to enhance bioenergy production. [In: Vermerris, W. (ed.) Genetic Improvement of Bioenergy Crops.] Springer Science. New York. 273–294.
- Clifton-Brown, J.–Robson, P.–Sanderson, R.–Hastings, A.–Valentine, J.–Donnison, I. (2011): Thermal requirements for seed germination in *Miscanthus* compared with switchgrass (*Panicum virgatum*), reed canary grass (*Phalaris arundinaceae*) maize (*Zea mays*) and perennial ryegrass (*Lolium perenne*). *Glob. Change Biol. Bioenergy.* 3: 375–386.
- Dohleman, F. G.–Long, S. P. (2009): More productive than maize in the midwest: how does *Miscanthus* do it? *Plant Physiology.* 150: 2104–2115.
- Dwiyanti, M. S.–Stewart, J. R.–Nishiwaki, A.–Yamada, T. (2014): Natural variation in *Miscanthus sinensis* seed germination under low temperatures. *Japanese Society of Grassland Science.* 60: 194–198.
- Energiacentrum (2011): Energiánövény-ültetvény telepítési és szaporítóanyag termesztési program az energiacentrum.com-tól. www.energiacentrum.com
- Ercoli, L.–Mariotti, M.–Masoni, A.–Bonari, E. (1999): Effect of irrigation and nitrogen fertilization on biomass yield and efficiency on energy use in crop production of *Miscanthus*. *Field Crops Research.* 63: 3–11.
- Faix, O.–Meier, D.–Beinhoff, O. (1989): Analysis of lignocelluloses and lignins from *Arundo donax* L. and *Miscanthus sinensis* Anderss. and hydroliquefaction *Miscanthus*. *Biomass.* 18: 109–126.
- Fodor B. (2013): Kihívások és lehetőségek a hazai megújulóenergia-szektorban. *Vezetéstudomány.* 44. 9: 48–61.
- Hastings, A.–Clifton-Brown, J.–Wattenbach, M.–Mitchell, C. P.–Stampfl, P.–Smith, P. (2009): Future energy potential of *Miscanthus* in Europe. *GCB Bioenergy.* 1: 180–196.
- Hastings, A.–Clifton-Brown, J.–Wattenbach, M.–Stampfl, P.–Mitchell, C. P.–Smith, P. (2008): Potential of *Miscanthus* grasses to provide energy and hence reduce greenhouse gas emissions. *Agronomy for Sustainable Development.* 28. 4: 465–472.
- Heaton, E. A.–Dohleman, F. G.–Long, S. P. (2008): Meeting US biofuel goals with less land: the potential of *Miscanthus*. *Global Change Biology.* 14: 2000–2014.
- Heaton, E. A.–Long, S. P.–Voigt, T. B.–Jones, M. B.–Clifton-Brown, J. (2004): *Miscanthus* for renewable energy generation: European Union experience and projections for Illinois. *Mitig. Adapt. Strategies Glob. Change.* 9: 433–451.
- Hodgson, E. M.–Nowakowski, D. J.–Shield, I.–Richie, A.–Bridgwater, A. V.–Clifton-Brown, J. C.–Donnison, I. S. (2011): Variation in *Miscanthus* chemical composition and implications for conversion by pyrolysis and thermo-chemical bio-refining for fuels and chemicals. *Bioresource Technol.* 102: 3411–3418.

- Horváth, Zs.–Vágvölgyi, A.–Pintér, Cs.–Marosvölgyi, B. (2009a): Examination of the possibilities of 'Halmaji' energy reed reproductive material production. MTA Agrártudományok Osztálya Agrárműszaki Bizottság. Kutatási és Fejlesztési Tanácskozás. Konferencia-kiadvány. 34: 25.
- Horváth Zs.–Vágvölgyi A.–Pintér Cs.–Marosvölgyi B. (2009b): Új szaporítóanyag-előállítási lehetőségek vizsgálata *Miscanthus* és *Arundo* energianövényeknél. Kari Tudományos Konferencia. Sopron. Konferencia-kiadvány. 21.
- Ivelics R. (2006): Minirotációs energetikai faültetvények termesztéstechnológiájának és hasznosításának fejlesztése. Doktori (PhD) értekezés. Sopron. 1–13.
- Larsen, S. U.–Jørgensen, U.–Kjeldsen, J. B.–Laerke, P. E. (2013): Long-term *Miscanthus* yields influenced by location, genotype, row distance, fertilization and harvest season. *BioEnergy Research*. 7. 2: 620–635.
- Lesur, C.–Jeuffroy, M. H.–Makowski, D.–Richie, A. B.–Shield, I.–Yates N.–Fritz, M.–Formowitz, B.–Grunert, M.–Jørgensen, U.–Laerke, P. E.–Loyce, C. (2013): Modeling long-term yield trends of *Miscanthus x giganteus* using experimental data from across Europe. *Field Crop Res.* 149: 252–260.
- Lewandowski, I.–Clifton-Brown, J. (2000): *Miscanthus*: European experience with a novel energy crop. *Biomass Bioenergy*. 19: 209–227.
- Lewandowski, I.–Clifton-Brown, J. C.–Andersson, B.–Basch, G.–Christian, D. G.–Jørgensen, U.–Jones, M. B.–Riche, A. B.–Schwarz, K. U.–Tayebi, K.–Teixeira, F. (2003): Environment and harvest time affects the combustion qualities of *Miscanthus* genotypes. *Agronomy Journal*. 95: 1274–1280.
- Lewandowski, I.–Heinz, A. (2003): Delayed harvest of *Miscanthus* – influences on biomass quantity and quality and environmental impacts of energy production. *European Journal of Agronomy*. 19: 45–63.
- Lewandowski, I.–Kisceher, A. (1997): Combustion quality of biomass: Practical relevance and experiments to modify the biomass quality of *Miscanthus x giganteus*. *Eur. J. Agron.* 6: 163–177.
- Lipcei, G. (2013): Analysis of renewable energy subsidy policies; German and Hungarian conditions. Institute of Electrical and Electronics Engineers. Jun 6 2013.
- Lygin, A. V.–Upton, J.–Dohleman, F. G.–Jack Juvik, J.–Zabotina, O. A.–Widholm, J. M.–Lozovaya, V. V. (2011): Composition of cell wall phenolics and polysaccharides of potential bioenergy crop – *Miscanthus*. *GCB Bioenergy*. 3: 333–345.
- Marosvölgyi B. (2001a): Biomassza hasznosítás I. – Előadás. Nyugat-Magyarországi Egyetem Energetikai Tanszék. Sopron.
- Marosvölgyi B. (2001b): Faenergetika I. – Jegyzet. Nyugat-Magyarországi Egyetem Energetikai Tanszék. Sopron.
- Marosvölgyi B.–Horváth B. (2010): Biomassza-előállítás és –hasznosítás. FVM Vidékfejlesztési, Képzési és Szaktanácsadási Intézet. Budapest.
- Mathanker, S. K.–Hansen, A. C. (2015): Impact of *Miscanthus* yield on harvesting cost and fuel consumption. *Biomass and Bioenergy*. 81: 162–166.
- Meehan, P. G.–Finnan, J. M.–McDonnell, K. P. (2013): The effect of harvest date and harvest method on the combustion characteristics of *Miscanthus x giganteus*. *GCB Bioenergy*. 5: 487–496.
- Miguez, F. E.–Zhu, X.–Humphries, S.–Bollero, G. A.–Long, S. P. (2009): A semimechanistic model predicting the growth and production of the bioenergy crop *Miscanthus x giganteus*: description, parameterization and validation. *GCB Bioenergy*. 1: 282–296.
- Nishiwaki, A.–Mizuguti, A.–Kuwabara, S.–Toma, Y.–Ishigaki, G.–Miyashita, T.–Yamada, T.–Matuura, H.–Yamaguchi, S.–Rayburn, A. L.–Akashi, R.–Stewart, J. R. (2011): Discovery of natural *Miscanthus* (*Poaceae*) triploid plants in sympatric populations of *Miscanthus sacchariflorus* and *Miscanthus sinensis* in southern Japan. *Am. J. Bot.* 98: 154–159.
- Otte, C.–Schwanke, J.–Jensch, P. (1996): Automatic Micropropagation of Plants. *SPIE*. 2907. 1: 80–87.
- Petersen, K. K.–Hagberg, P.–Kristiansen, K. (2002): *In vitro* chromosome doubling of *Miscanthus sinensis*. *Plant Breeding*. 121: 445–450.
- Pintér Cs. (2015): A *Miscanthus sinensis* Tatai energianád-fajta be-takarítási technológiájának ökonomiai vizsgálata – Energia a mindennapokban. Verseny és Konferencia. Debrecen. 73–81.
- Pintér G.–Németh K.–Kis-Simon T. (2009): A szőlővenyige és a fanyesedék biomasszaerőművi beszállításának gazdasági elemzése. *Gazdálkodás*. 53. 4: 357–363.
- Sacks, E. J.–Juvik, J. A.–Lin, Q.–Yamada, T. (2013): The gene pool of *Miscanthus* species and its improvement. *Genomics of the Saccharinae*. 73–101.
- Stewart, J. R.–Toma, Y.–Fernandez, F. G.–Nishiwaki, A.–Yamada, T.–Bollero, G. (2009): The ecology and agronomy of *Miscanthus sinensis*, a species important to bioenergy crop development in its native range in Japan: a review. *Glob. Change Biol. Bioenergy*. 1: 126–153.
- Toljan, I.–Tokai, M.–Skubin, G. (2012): Development of Construction of Renewable Energy Sources in Croatia, Hungary and Slovenia through regional approach. Institute of Electrical and Electronics Engineers. 1–7.
- Vasco, J.–Li, Y. (2015): Solid-state anaerobic digestion of fungal pretreated *Miscanthus sinensis* harvested in two different seasons. *Bioresource Technology*. 185: 211–217.