

Uzgoj i korištenje miskantusa (Miscanthus sp.)

Leto, Josip; Bilandžija, Nikola; Voća, Neven; Grgić, Zoran; Jurišić, Vanja

Authored book / Autorska knjiga

Publication status / Verzija rada: **Published version / Objavljena verzija rada (izdavačev PDF)**

Publication year / Godina izdavanja: **2017**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:204:361855>

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-28**



Repository / Repozitorij:

[Repository Faculty of Agriculture University of Zagreb](#)



UZGOJ I KORIŠTENJE *miskantusa*

JOSIP LETO
NIKOLA BILANDŽIJA
NEVEN VOĆA
ZORAN GRGIĆ
VANJA JURIŠIĆ

UZGOJ I KORIŠTENJE
miskantusa
(*Miscanthus* sp.)



(*Miscanthus* sp.)

ZAGREB, 2017.



Sveučilište u Zagrebu
Agronomski fakultet



Sveučilište u Zagrebu
Agronomski fakultet

Josip Leto
Nikola Bilandžija
Neven Voča
Zoran Grgić
Vanja Jurišić

UZGOJ I KORIŠTENJE
miskantusa
(*Miscanthus* sp.)

Zagreb, 2017.

Impressum

Nakladnik	Sveučilište u Zagrebu Agronomski fakultet
Za nakladnika	prof. dr. sc. Zoran Grgić
Recenzenti	prof. dr. sc. Tajana Krička, Sveučilište u Zagrebu Agronomski fakultet izv. prof. dr. sc. Zoran Iličković, Univerzitet u Tuzli Tehnološki fakultet
Lektura i korektura	Jadranka Vrbnjak Ferenčak, prof.
Oblikovanje naslovnice	Dragan Tupajić
Oblikovanje i tisak	Motiv, Zagreb
Naklada	150 primjeraka

Objavlivanje ovog priručnika odobrilo je Fakultetsko vijeće Sveučilišta u Zagrebu Agronomskog fakulteta odlukom od 9. svibnja 2017. (Klasa 602-09/16-02/07, Ur. broj: 251-71-01-17-5)

CIP-Kategorizacija u publikaciji
Centralna agronomska knjižnica-Zagreb

ISBN 978-953-7878-70-2

© Sveučilište u Zagrebu Agronomski fakultet, Zagreb, 2017. Sva prava pridržana.

Sadržaj

Uvod.....	5
Općenito o biomasi	6
Općenito o biogorivima druge generacije.....	8
Podrijetlo i taksonomija roda <i>Miscanthus</i>	11
Morfološke karakteristike	12
<i>Miscanthus sacchariflorus</i> (Maxim.)	12
<i>Miscanthus sinensis</i> Anderss	13
<i>Miscanthus x giganteus</i> Greef et Deu.	14
Biološka svojstva	20
Ekološki zahtjevi	24
Temperature.....	24
Voda	27
Tlo	29
Vjetar i polijeganje.....	32
Agrotehnika.....	33
Zasnivanje usjeva	33
Obrada tla	33
Sadni materijali.....	34
Rokovi sadnje	40
Oprema za sadnju	40
Prezimljavanje miskantusa u prvoj godini	43
Gnojidba	44
Utjecaj dušika na produkciju biomase	45
Iznošenje hraniva prinosom	47
Kontrola korova.....	48
Bolesti.....	52
Produktivnost miskantusa.....	54
Utjecaj na okoliš	57
Zamjena/čuvanje izvora fosilne energije i smanjivanje emisije ugljika i stakleničkih plinova.....	57
Utjecaj na kakvoću tla i vode	59
Utjecaj na bioraznolikost.....	60

Žetva	62
Datum žetve	62
Žetvene tehnike	63
Sušenje i skladištenje miskantusa za energetske korištenje.....	69
Silaža	72
Energetsko korištenje miskantusa.....	74
Tehnologije pretvorbe miskantusa u energiju	74
Kruta biogoriva	74
Energetske karakteristike trave <i>Miscanthus x giganteus</i> za izgaranje	82
Proizvodnja biogoriva druge generacije iz vrsta roda <i>Miscanthus</i>	85
Tekuća biogoriva	85
Proizvodnja etanola.....	88
Proizvodnja butanola.....	93
Termokemijski procesi proizvodnje tekućih biogoriva.....	93
Tekuća biogoriva i miskantus u budućnosti	95
Ocjena isplativosti uzgoja miskantusa za mala obiteljska gospodarstva.....	96
Ekonomska analiza uzgoja miskantusa na poljoprivrednom gospodarstvu.....	99
Investicijske kalkulacije u uzgoju miskantusa	99
Uvod u investiranje u poljoprivredi.....	99
Pojam, planiranje i ocjena investicije korištenjem kalkulacija.....	100
Investicijske kalkulacije.....	100
Investicijske kalkulacije ukupnih troškova uzgoja miskantusa	101
Kalkulacija pokrića varijabilnih troškova proizvodnje miskantusa	103
Usporedba ekonomskih rezultata proizvodnje miskantusa i drugih ratarskih kultura na poljoprivrednom gospodarstvu	104
Literatura.....	107
Kazalo pojmova	117

Uvod

Najosnovnije ljudske potrebe, kao i sve gospodarske i izvangospodarske djelatnosti i aktivnosti, zahtijevaju potrošnju energije (Herceg, 2013.). Energija danas predstavlja jedan od najvažnijih pokazatelja ekonomskoga i društvenog razvoja, prioritet je svim zemljama u svijetu još od ranih 70-ih godina prošlog stoljeća (Unal i Alibas, 2007.). Da je čovječanstvo više no ikada ovisno o potrošnji energije, govori i podatak da je potrebno osigurati čak 65.000 MJ energije, i to na godišnjoj razini, po glavi stanovnika Zemlje (Donlagić, 2005.). Na temelju energetske scenarija (smanjenja zaliha neobnovljivih izvora energije) i energetske težnje (sigurna, održiva i kontinuirana opskrba energijom) u sljedećih desetak godina očekuje se povećan rast proizvodnje i potrošnje obnovljivih izvora energije na globalnoj razini (Dam i sur., 2007.; Tomić i sur., 2008.; Višković, 2009.; Tomić i sur., 2011.). Nadalje, intenzivno i nekontrolirano korištenje fosilnih izvora energije dovelo je do ozbiljnih ekoloških posljedica s kojima se danas suočavamo (NEP, 1998.), pri čemu je izgaranje fosilnih energenata definirano kao jedno od najvećih izvora onečišćenja okoliša.

Kako bi se suočila s dijelom problema, Europska unija u posljednjih dvadesetak godina raznim strategijama i direktivama potiče obnovljive izvore energije. Potkraj 2014. Europska komisija proširuje Energetsku strategiju za Europu do 2020. godine (2009/28/EC) te navodi ciljeve i scenarije do 2030., i to propisivanjem Okvira za klimatske i energetske politike. Njime se predlaže smanjenje emisija stakleničkih plinova za 40%, povećanje udjela obnovljivih izvora energije od najmanje 27%, kontinuirano poboljšanje energetske učinkovitosti, te osiguranje konkurentne, pristupačne i sigurne energije. U klasifikaciju obnovljivih izvora energije ubraja se i poljoprivredna biomasa dobivena uzgojem brzorastućih kultura za proizvodnju energije. Cilj je uzgoja kultura za proizvodnju energije proizvodnja što veće količine biomase po jedinici površine radi njezine pretvorbe u energiju, a jedna od takvih kultura svakako su i trave iz roda *Miscanthus* sp.

Općenito o biomasi

U posljednje vrijeme sve više postaje očito da je današnji pristup energiji neodrživ. Od svih obnovljivih izvora energije najveći se doprinos u bližoj budućnosti očekuje od biomase. Biomasa, kao i njezini proizvodi – tekuća biogoriva i bioplin, nisu samo potencijalno obnovljiva, nego i dovoljno slična fosilnim gorivima u tolikoj mjeri da je moguća izravna zamjena. Na osnovi okvirne konvencije o promjeni klime, odnosno Kyoto protokola, sve zemlje potpisnice preuzele su obvezu smanjenja emisije stakleničkih plinova, a u mnogim državama korištenje biomase kao obnovljiva izvora energije pritom može odigrati presudnu ulogu (Demirbas, 2009.).

Proces stvaranja biomase zapravo se temelji na procesu fotosinteze u kojem biljke uzimaju ugljikov dioksid iz zraka i pretvaraju ga u organske komponente uz pomoć vode, sunčeve svjetlosti i klorofila kao katalizatora. Istovremeno, oslobađa se kisik kao nusproizvod. Na taj način biljke osiguravaju osnovne preduvjete za život - daju nam kisik i hranu, a uklanjaju ugljikov dioksid iz zraka. Biomasa se definira kao biorazgradljiv dio proizvoda, otpada ili ostataka iz poljoprivrede, šumarstva i srodnih industrija, kao i biorazgradljivi dijelovi industrijskoga i gradskog otpada (Iličević, 2014.).

Biomasa se može koristiti za dobivanje različitih oblika biogoriva (u čvrstom, tekućem i plinovitom stanju), a razlikuju se:

- poljoprivredna biomasa - ostaci godišnjih kultura: slama, kukuruzovina, oklasci, stabljike, ljuske, košnice; ogrjevna vrijednost biljnih ostataka kreće se od 5,8 do 16,7 MJ/kg
- šumska biomasa - ostaci i otpad iz drvne industrije nastali redovitim gospodarenjem šumama, prostorno i ogrjevno drvo; ogrjevna vrijednost drva kreće se od 8,2 do 18,7 MJ/kg
- biomasa iz drvne industrije - ostaci i otpad pri piljenju, brušenju, blanjanju, gorivo u vlastitim kotlovnica, sirovina za proizvode, brikete
- biomasa sa životinjskih farmi - gnoj životinja (anaerobna fermentacija), spaljivanje lešina; ogrjevna vrijednost iznosi 26 MJ/Nm³
- gradski otpad - “zeleni dio” recikliranoga kućnog otpada, biomasa iz parkova i vrtova, mulj iz kolektora otpadnih voda
- energetski nasadi - biljke bogate uljem ili šećerom, s velikom količinom suhe tvari: *Miscanthus*, divovska trska (*Arundo donax*), divlje proso (*Panicum virgatum*), vrba, topola, eukaliptus itd.

Od 2008. godine sve države Europske unije biomasu koriste u svrhu proizvodnje nekog oblika energije. Najveći su proizvođači takve energije upravo države s najvećim udjelom šumskih površina (Francuska, Švedska, Njemačka, Finska i

Poljska). U tim državama proizvodi se 58% ukupne proizvodnje električne energije Europske unije iz šumske i poljoprivredne biomase korištenjem uglavnom kogeneracijskih postrojenja – postrojenja za usporednu proizvodnju električne i toplinske energije. Prema Europskoj agenciji za okoliš (EEA-i, 2008.), upotreba biomase kao obnovljiva izvora energije mogla bi se znatno povećati u idućim godinama, i to bez znatnijega nepovoljnog utjecaja na bioraznolikost, zemljišne i vodene resurse. Potencijal biomase u Europi dovoljan je da se ostvare ambiciozni ciljevi o povećanju upotrebe obnovljivih izvora energije na održiv način (EEA, 2008.).

Kako je već navedeno, glavne sirovine za proizvodnju biomase ipak dolaze iz poljoprivredne i šumske proizvodnje. Naime, u proizvodnji energije mogu se koristiti ne samo ostaci slame, nego i energetske kulture koje se intenzivno uzgajaju u posljednjih nekoliko godina. Kako je sve manje poljoprivrednih površina raspoloživih za proizvodnju hrane, kultivacija energetskih kultura na tlima slabije, odnosno lošije kvalitete pruža velik potencijal za budućnost. Trenutno se diljem svijeta provode poljski pokusi s brzorastućim vrstama drveća, kao što su vrba, topola i dr., ali i s novim kulturama koje se klasificiraju kao poljoprivredne - miskantus i divlje proso, blještac itd. Cilj je takvih istraživanja pronaći energetske kulture i plodorede koji su povoljni za okoliš, a istovremeno ekonomski i ekološki prihvatljivi. Ukupna količina ovako nastale biomase namijenjena je isključivo za konverziju u energiju, za razliku od poljoprivrednih i šumskih ostataka.

Globalna primarna proizvodnja biomase od 22 milijarde tona suhe tvari, 4500 EJ = 10 puta više od svjetske potrošnje primarne energije. Biomasa korištena za hranu iznosi 800 milijuna t ST = 0,4% primarne proizvodnje biomase (El Bassam, 2010.). Svega 5% primarne proizvodnje biomase (oko 225 EJ) bilo bi dovoljno da pokrije oko 50% današnjih ukupnih energetskih potreba u svijetu.

Procjene o ukupnom globalnom potencijalu biomase različite su i kreću se od oko 100 EJ, kada se u obzir uzimaju samo poljoprivredni ostatci, pa do 1500 EJ kada se u obzir uzimaju svi oblici biomase, i to uz primjenu najboljih dostupnih tehnika u poljoprivredi i šumarstvu. Objektivno, može se reći da je najvjerojatniji potencijal biomase negdje između 300 i 800 EJ. Treba uzeti u obzir i činjenicu da biomasa predstavlja osnovu energetske bilance nerazvijenih zemalja Azije i Afrike, te da je visok udio biomase u globalnoj energetskoj bilanci direktna posljedica te činjenice. Mnoge europske zemlje napravile su velik iskorak u pogledu korištenja ovoga važnoga energetskog potencijala, što je osobito izraženo kroz izgradnju sustava daljinskoga grijanja na bazi postrojenja za termički tretman biomase i to, prvenstveno, koncipiranih kao postrojenja za istovremenu proizvodnju toplinske i električne energije (Iličković, 2014.).

Miskantus vrste obećavajuće su visokoprinosne, lignocelulozne kulture, niskog sadržaja vlage u žetvi, visoke učinkovitosti u korištenju vode i hraniva i, trenutno, male osjetljivosti na bolesti i štetnike. Pogodna su sirovina za proizvodnju različitih oblika obnovljive energije, naročito biogoriva druge generacije.

Općenito o biogorivima druge generacije

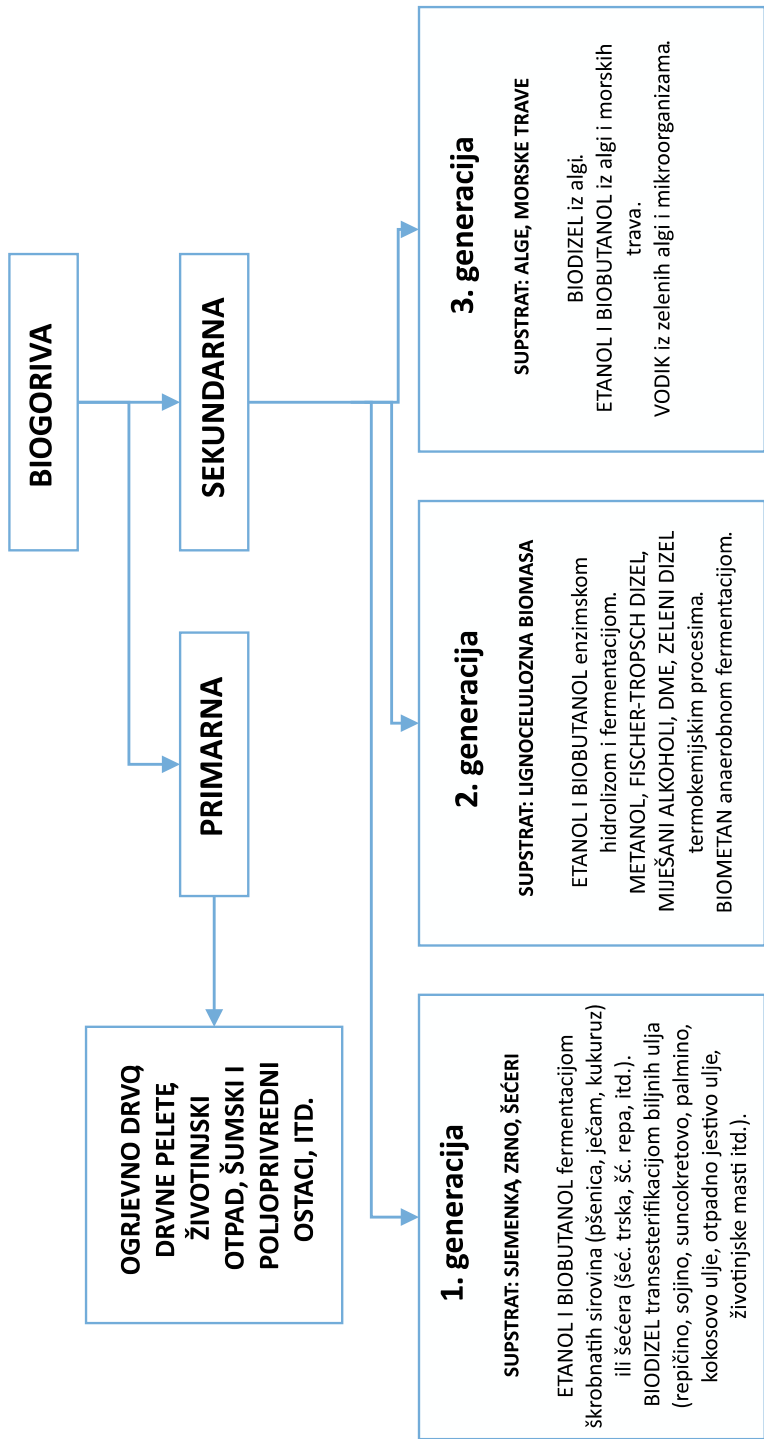
Proizvodnja i korištenje biogoriva danas su u znatnom porastu. Iako ona još uvijek predstavljaju tek djelomičnu zamjenu za fosilna goriva, ipak već utječu na smanjenje ovisnosti o njihovom uvozu pridonoseći smanjenju emisija stakleničkih plinova i toksičnih tvari u atmosferu. Danas je proizvodnja biogoriva prve generacije još uvijek dominantna na svjetskoj razini, međutim, zbog kompeticije proizvodnje biogoriva s proizvodnjom hrane za ljude i domaće životinje proizvodnju biogoriva je nužno, i to u što većoj mjeri, preusmjeriti na lignocelulozne sirovine, odnosno na tzv. drugu generaciju biogoriva. Ta je proizvodnja trenutno znatno skuplja od proizvodnje biogoriva prve generacije iz poljoprivrednih usjeva pa na svjetskoj razini danas postoji tek nekoliko ovakvih postrojenja za proizvodnju biogoriva druge generacije.

Direktiva 2009/28/EZ o promicanju uporabe energije iz obnovljivih izvora kaže da članice EU-a imaju obvezni minimalni 10 %-tni cilj o udjelu biogoriva u sektoru prometa do 2020. godine, uz uvjet da proizvodnja biogoriva bude održiva i da druga generacija biogoriva postane komercijalno dostupna na tržištu. Biogoriva druge generacije dobivaju se iz biomase koja se ne koristi neposredno za proizvodnju hrane. Proizvode se biokemijskom ili termokemijskom obradom lignocelulozne biomase iz različitih sirovina, i to: poljoprivrednih ostataka (kukuruzovine, slame pšenice i sl.), energetskih kultura (trave - poput vrsta *Miscanthus* ili šumske vrste - poput brzorastućih topola), drvnih ostataka i komunalnoga čvrstog otpada (papira i sl.).

Iz biomase se može proizvesti široka lepeza tekućih goriva, kao što su:

- etanol
- metanol
- biodizelsko gorivo
- Fischer-Tropschovo dizelsko gorivo itd.

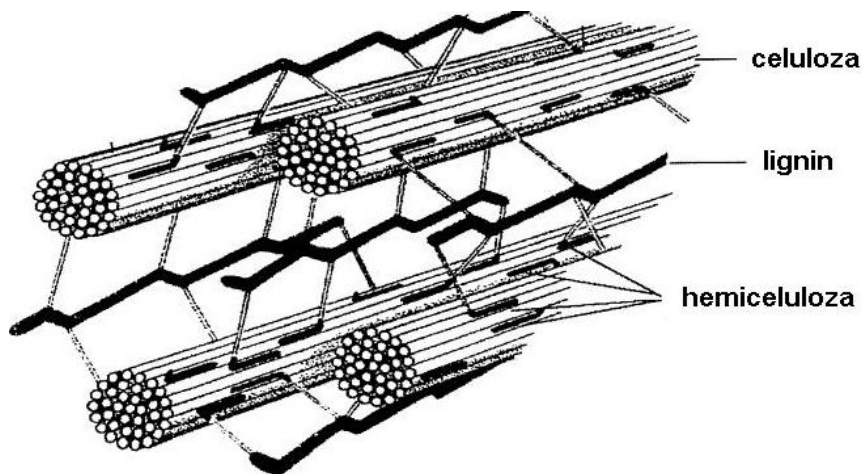
Slika 1 prikazuje klasifikaciju biogoriva prema tehnologijama proizvodnje i tipu sirovine iz koje se gorivo proizvodi:



Slika 1. Klasifikacija biogoriva na temelju tehnologija proizvodnje i sirovina (Lebaka, 2013.)

Uzgoj i korištenje miskantusa (*Miscanthus* sp.)

S obzirom na to da se pri proizvodnji prve generacije biogoriva koriste visokovrijedne sirovine potrebne za prehranu stanovništva, i to proizvedene na plodnim poljoprivrednim tlima, pojavila se potreba razvoja biogoriva druge generacije. Za ta se goriva sirovina može proizvoditi i na tlima lošije kvalitete, nepogodnima za proizvodnju hrane. Razlika je u proizvodnji druge generacije biogoriva u samom tehnološkom procesu, ali i u sirovini, tj. njezinu sastavu. Glavnu strukturu lignocelulozne biomase čini lignoceluloza, odnosno vlaknasti materijal koji je osnova stanične stijenke biljke. Sastoji se od triju glavnih komponenata, i to celuloze (40%-50%), hemiceluloze (25%-35%) i lignina (15%-20%) (slika 2), a udio pojedine komponente ovisi o vrsti sirovine.



Slika 2. Položaj celuloze, lignina i hemiceluloze u lignocelulozi (Janušić i sur, 2008.)

Celuloza se sastoji od polimera glukoze visoke molekulske mase, koji se čvrsto drže kao svežnjevi vlakana kako bi osigurali čvrstoću materijala. Hemiceluloza se sastoji od kraćih polimera raznih šećera koji vežu svežnjeve celuloze. Lignin se sastoji od trodimenzionalnog polimera propil-fenola koji je vezan za hemicelulozu, a strukturi osigurava čvrstoću. Osim celuloze, hemiceluloze i lignina, lignocelulozna biomasa sadržava i druge komponente kao što su proteini, terpenska ulja, masne kiseline/esteri i anorganske tvari (uglavnom na bazi dušika, fosfora i kalija). Kombinirani učinak triju glavnih komponenata rezultira svojstvima jedinstvenima za biljna vlakna. Najvažnija su svojstva lignocelulozne biomase vrlo dobra čvrstoća, zapaljivost, biorazgradljivost i reaktivnost.

Podrijetlo i taksonomija roda *Miscanthus*

Od kada je *Miscanthus* prvi put opisan (Andersson, 1885.), za taj rod koristilo se više od 18 različitih sinonima (TPNP, 1999.). Danas se pretpostavlja da rod *Miscanthus* sadržava od 14 (Hodkinson i sur., 1997.) do 23 različite vrste (Liu, 1989., Xi, 2000.). Međuvrsto je križanje uobičajeno i daje velik broj hibrida, od kojih su mnogi sterilni. Kao dodatak prirodnoj hibridizaciji stvoren je velik broj kultivara miskantusa važnih ornamentalnih vrijednosti u hortikulturnoj industriji. *Miscanthus* se može križati i s drugim rodovima, posebno s rodom *Saccharum*, s kojim je u bliskoj srodnosti.

Rod *Miscanthus* pripada porodici trava (*Poaceae*). Ima široki areal rasprostranjenja u prirodnim staništima u jugoistočnoj Aziji, Kini, Japanu, te u Polineziji, a nekoliko vrsta utvrđeno je i u Africi. Danas se miskantus, međutim, može pronaći naturaliziran širom Europe, gdje je uvezen uglavnom zbog svoje ukrasne vrijednosti. U prirodi je raširen uglavnom u tropskom ili suptropskom pojasu, a raste i na različitim nadmorskim visinama - od razine mora do 3000 m. U tim regijama uglavnom se smatra korovom, ali može biti i dio ekstenzivnih travnjačkih zajednica.

Hibrid koji je posljednjih godina izazvao veliko zanimanje svakako je i *Miscanthus x giganteus* Greef et Deu. Prvi put prikupio ga je Olson u Yokohami u Japanu 1935. godine, odakle ga je Karl Foerster prenio na uzgoj u Dansku i nazvao *Miscanthus sinensis* „Giganteus“ hort. (Greef i Deuter, 1993.). Naknadno je ta biljna vrsta raširena diljem Europe. Neka istraživanja sugeriraju da je taj hibrid rezultat križanja između *M. sinensis* i *M. sacchariflorus* (Greef i Deuter, 1993., Linde-Laursen, 1993., Hodkinson i sur., 1997.). Međutim, te tvrdnje nisu u potpunosti održive pa taksonomija ovog hibrida, kao ni cijelog roda *Miscanthus*, nije još u potpunosti riješena. Mnoge komplikacije uključene u taksonomiju miskantusa proizilaze iz njegove poliploidne prirode. Neki vjeruju da velik bazični broj kromosoma miskantusa upućuje na to da je možda dobiven od dvaju predaka, od kojih je jedan sa 10 a drugi sa 9 kromosoma (Adari i Shiotani, 1962., Linde-Laursen, 1993.). Dodatne komplikacije izviru iz činjenice da se *Miscanthus* vrste međusobno križaju unutar roda, kao i s drugim srodnim rodovima kao što je *Saccharum*, što dodatno otežava determiniranje podrijetla same biljke.

Morfološke karakteristike

Miskantus je višegodišnja drvenasta, rizomatska trava. Spada u grupu C₄ biljaka i bogata je ligninom i lignoceluloznim vlaknima. Unutar roda *Miscanthus* tri vrste imaju visok energetska potencijal - *M. sacchariflorus*, *M. sinensis* i *M. x giganteus*.

Miscanthus sacchariflorus (Maxim.)

Miscanthus sacchariflorus (slika 3) višegodišnja je biljka umjerenih područja, s dugačkim puzajućim rizomima. Ima uspravnu stabljiku, 2-7,5 m visoku, 0,8-3,5 cm široku u presjeku pri bazi stabljike, šuplju ili djelomično ispunjenu srčikom prema vrhu stabljike, s grananjem ili bez grananja. Obično raste u ekstenzivnim kolonijama. Lisna je plojka duga 90-100 cm, široka 1,5-4 cm, s hrpavim rubovima. Metlica je duga 20-25 cm, a sjeme dugo 2 mm i tamne boje.

Biljke se u ovoj vrsti znatno razlikuju po visini i mogu biti razvrstane u različite forme. Više su forme rodnije i zanimljivije za proizvodnju energije. Najniže forme pronađene su u srednjoistočnoj Kini. Biljke najvećih formi *M. sacchariflorusa* lako se granaju, osobito ako je vrh glavne biljke uništen kukcima ili vjetrom. Normalna je visina biljke 4-6 m s promjerom stabljike oko 2 cm. U usporedbi s *M. x giganteus*, visoke biljke *M. sacchariflorusa* imaju manje lišća, zbog toga što starije lišće na nižim etažama odumire tijekom rasta biljke. Jaki i puzajući podzemni rizomi (podanci) raspoređeni su na dubini tla 5-20 cm. Korijenje može doseći dubinu 1-2 m pa i više. Biljke su stranoopodne, a sjeme zrije od studenoga do prosinca.



Slika 3. *Miscanthus sacchariflorus* (www.wildplantsshimane.jp)

***Miscanthus sinensis* Anderss**

Miscanthus sinensis Anderss (slika 4) višegodišnja je trava s kratkim rizomima. Raste u brežuljkastim područjima i na rubovima polja umjerenih područja istočne Azije. Stabljike rastu u gustim busenovima, uspravne ili poluuspravne, 0,5-3,3 m visoke i 3-7 mm široke u baznom dijelu biljke. Lisna plojka duga je 20-70 cm i široka 0,6-1,2 cm s vrlo hrapavim rubovima. Metlica je duga 10-30 cm. Sjeme je purpurnosmeđe ili tamnosmeđe. Cvatnja i zrenje sjemena traju od srpnja do prosinca. Lako se razlikuje od *M. sacchariflorus* po osju na klasićima, ali se u južnim područjima katkad miješa s *M. floridulus*, zbog učestalih prijelaznih formi između ovih dviju vrsta, vjerojatno nastalih prirodnim križanjem.

Uzgoj i korištenje miskantusa (*Miscanthus* sp.)



Slika 4. *Miscanthus sinensis* (www.upload.wikimedia.org)

***Miscanthus x giganteus* Greef et Deu.**

Miscanthus x giganteus Greef et Deu. triploidna je višegodišnja biljka s debelim i jakim rizomima. **Korijen** (slika 5) je uglavnom raspoređen u plitkom površinskom sloju tla (do 35 cm), ali dio korijenja prodire i dublje od 2 m u tlo odakle crpi vlagu (Monti i Zatta, 2009.). Niža visina u prvoj godini rasta rezultat je visokog utroška biljne energije na razvoj ekstenzivnog korijenova sustava i rizoma. **Rizomi** (slika 5) čine vrlo razgranat sustav pričuvnih tvari biljke.

Morfološke karakteristike



Slika 5. Korijen i rizomi



Slika 6. Dio rizoma

Stabljika (slika 7) je visoka 2,5->3,5 m, uspravna, promjera oko 10 mm. U godini sadnje dosegne 1-2 m visine, a u drugoj i idućim godinama može biti i viša od 3,5 m. Stabljika se ne grana, a u unutrašnjosti je ispunjena srčikom (parenhim).

Uzgoj i korištenje miskantusa (*Miscanthus* sp.)



Slika 7. Stabljika

Lisna plojka (slika 8) duga je >50 cm i široka oko 3 cm. Mladi su listovi savitljivi i meki, a starenjem postaju grubi. Prvi su listovi najkraći i najuži, a ostali bivaju sve širi i duži sve do formiranja 8-10 listova. Nakon toga ostaju isti ili kraći (Dželetović, 2012.). Donje etaže listova počinju odumirati tijekom srpnja i kolovoza.



Slika 8. List

Morfološke karakteristike

Cvat je metlica (slika 9), duga oko 30 cm ali ne proizvodi sjeme. Vrijeme je cvatnje između rujna i studenoga (slika 10).



Slika 9. Metlica



Slika 10. Miskantus u cvatnji

M. x giganteus najvjerojatnije je prirodni hibrid između *M. sacchariflorus* i *M. sinensis*. Uvezen je u Europu kao ukrasna vrtna biljka (Greef i Deuter, 1993.). Taj hibrid već duže nije pronađen u prirodi ishodišnog područja Japana, ali je nedavno reintrodiciran u istočnu Aziju (Xi, 2008.). Iako se većina podzemnog rasta biljke odvija u prvoj godini, usjev obično ne doseže zrelost sve dok ne prođu 2-3 godine.

Uzgoj i korištenje miskantusa (*Miscanthus* sp.)

Produktivni je životni vijek miskantusa najmanje 10-15 godina, a žanje se jednom godišnje. Miskantus je obećavajuća nejestiva biljka, koja daje visoke prinose lignoceluloznog materijala za proizvodnju energije ili vlakana. Karakteriziraju ga visoki prinosi, nizak sadržaj vlage u žetvi, visoka učinkovitost korištenja vode i dušika, te niska razina osjetljivosti na bolesti i štetnike. Na slikama 11, 12 i 13 prikazan je nasad *M. x giganteus* u prvoj, drugoj i trećoj uzgojnoj godini.



Slika 11. *M. x giganteus* na kraju prve uzgojne godine

Morfološke karakteristike



Slika 12. *M. x giganteus* na kraju druge uzgojne godine



Slika 13. *M. x giganteus* na kraju treće uzgojne godine

Biološka svojstva

Miskantus je višegodišnja biljna vrste koja svake godine proizvodi novi nadzemni dio iz pupova na rizomima (slika 14).



Slika 14. Pupovi na reznici rizoma

Nicanje (slika 15) u povoljnim uvjetima počinje 10-ak dana nakon sadnje reznica rizoma. Za nicanje i početni rast biljke koriste pričuvne tvari iz rizoma. Prvo se na površini tla pojavljuju izbojci smeđe boje, a poslije postaju žarkocrveni, te na koncu narančaste boje. Otprilike 2-3 dana nakon nicanja počinje pojavljivanje listova (slika 16).



Slika 15. Nicanje izboja



Slika 16. Početni porast

U godini sadnje broj izboja (stabljika) po posađenom rizomu povećava se kako odmiče vegetacijska sezona, a može znatno varirati ovisno o agroekološkim uzgojnim uvjetima (gustoća sadnje, gnojidba, oborine itd.). Leto i Bilandžija (2013.) u godini sadnje utvrdili su 6-12 izboja po rizomu, ovisno o uzgojnoj lokaciji. U drugoj uzgojnoj godini povećava se broj stabljika po posađenom rizomu ili po jedinici površine u odnosu na godinu sadnje. To je svojstvo na koje prvenstveno utječu gustoća sadnje rizoma i vrsta sadnog materijala (prijesadnice ili dijelovi rizoma) (Dalantos i sur., 1998., Christian i sur., 2008.). Leto i sur. (2014.) utvrdili su oko triput više stabljika po biljci na kraju druge uzgojne godine u odnosu na isto vrijeme u godini sadnje (23-31). Dželetović (2010.) je utvrdio 2-5 puta veći broj stabljika po jedinici površine u drugoj godini u odnosu na godinu sadnje miskantusa. U trećoj godini dolazi do daljnjeg zgušnjavanja usjeva, tako da su Leto i sur. (2015.) utvrdili 53% (33-52) više stabljika m^{-2} u odnosu na drugu uzgojnu godinu (prosjeck svih lokacija).

U drugoj i idućim godinama datum nicanja novih izdanaka u proljeće ovisi o agroekološkim uvjetima uzgojne lokacije i obično se događa u prvom desetodnevlju do polovice travnja u nizinskim i nižim kopnenim krajevima, do zadnjeg desetodnevlja travnja u gorskim krajevima.

Rast miskantusa ograničen je pojavom zadnjeg mraza u proljeće i pojavom prvog mraza u jesen. Stope rasta miskantusa ovise o agroekološkim uzgojnim uvjetima, od kojih su najvažniji tip tla, oborine, temperature, gnojidba itd. (Miguez i sur., 2008.). Najbrže raste u proljeće i rano ljeto, a najveću visinu postiže u rujnu ili listopadu. Danalatos i sur. (2007.) navode da usjev miskantusa zasnovan sredinom travnja ima stopu rasta od 3 cm/dan od nicanja do prvog desetodnevlja lipnja, a nakon toga raste 0,5-1 cm na dan do konačnih 233-323 cm u listopadu, i to u uvjetima optimalne vlage.

Postizanjem maksimalne visine biljke miskantus postiže i maksimalan prinos biomase. Kraj razdoblja rasta miskantusa podudara se s nastupom nižih temperatura, a potpuno sazrijevanje i sušenje usjeva počinje nastupom prvoga jesenskog mraza. Potkraj sezone rasta hraniva se iz nadzemnih dijelova biljke translociraju u rizome

Uzgoj i korištenje miskantusa (*Miscanthus* sp.)

(Christian i Haase, 2001.). U starijim nasadima to se počinje događati već potkraj ljeta i početkom jeseni (Clifton-Brown i Lewandowski, 2000.). Stabljike se postupno suše tijekom zime i ranog proljeća, kad su spremne za žetvu (ako se koriste kao kruto gorivo). Tijekom tog razdoblja dolazi do znatnog smanjenja prinosa (35-36% Dželetović, 2010.; 45-46 % Bilandžija, 2015.), i to zbog otpadanja lišća i gornjih dijelova stabljike (metlice), ali i poboljšanja gorivih karakteristika biomase (Bilandžija, 2016.).

Na slikama 17-24 prikazana je dinamika rasta nasada trave *Miscanthus x giganteus* tijekom jedne uzgojne godine.



Slike 17. i 18. Usjev miskantusa sredinom svibnja i početkom lipnja



Slike 19. i 20. Usjev miskantusa početkom srpnja i početkom rujna

Biološka svojstva



Slike 21. i 22. Usjev miskantusa na kraju listopada i početkom prosinca



Slike 23. i 24. Usjev miskantusa zimi i u rano proljeće

Ekološki zahtjevi

Svaka biljna vrsta zahtijeva određene ekološke uvjete za svoj rast, prije svega:

- temperature
- vodu
- tlo.

Rod *Miscanthus* grupa je visoko tolerantnih biljnih vrsta na različite ekološke uvjete. Nastao je u svjetskim regijama s visokim temperaturnim variranjima između ljeta i zime. Neke vrste miskantusa dobro rastu na staništima s izraženim okolišnim stresom, npr. u Tajvanu (Chou i sur., 2001.), a druge su raširene blizu sjevera Sibira. Evolucija ovog roda dovela je do razvoja biljnih karakteristika koje im omogućavaju otpornost na vrućinu, mraz, sušu i poplavu, dok produkcija biomase varira u različitim stanišnim uvjetima, ovisno o vrstama i genotipovima miskantusa.

Temperature

Većini C₄ vrsta najbolje odgovara tropska i suptropska klima. Odnosno, većina C₄ vrsta ima vrlo nisku stopu rasta u umjerenim klimatima, a često višegodišnje C₄ vrste ne mogu preživjeti zimske temperature niže od nule. Postoji, međutim, vrlo mali broj C₄ vrsta za koje se zna da se mogu uzgajati i u sjevernoj Europi ili u sličnim klimatskim uvjetima. Među njima su i *Miscanthus* vrste, od kojih je većina prepoznata kao potencijalno visokoprinosi usjev za proizvodnju biomase.

Podrijetlo roda *Miscanthus* tropski su i suptropski predjeli jugoistočne Azije (Greef i Deuter, 1993.). Ti se predjeli odlikuju toplinom, velikom količinom i ravnomjernim rasporedom oborina, što znači da su prirodna preferencija miskantusa blage

temperature i visoka opskrbljenost vodom. Međutim, naturalizacija miskantusa u umjerenijim klimatima upućuje na njegovu relativnu tolerantnost prema temperaturi i dostupnosti vode.

Rast miskantusa u sjevernoj Europi limitiran je niskim temperaturama, unatoč činjenici da je prilagođeniji umjerenoj klimi od većine drugih C_4 usjeva. Temperature utječu na rast i razvoj miskantusa i reguliraju duljinu vegetacijske sezone. Početak vegetacijske sezone određen je datumom zadnjega proljetnog mraza, a kraj datumom prvoga jesenskog mraza. Temperature izrazito utječu na razvoj listova miskantusa, a kao temperaturni prag za rast navode se temperature između 5 i 10°C.

Ukupno gledano, razvoj listova i cjelokupnog usjeva, prinos suhe tvari i dužina vegetacijske sezone miskantusa pod znatnim je utjecajem temperature zraka. Prinosi miskantusa u sjevernoj Europi ograničeni su niskim temperaturama i manji od prinosa u južnoj Europi, i to ako voda nije ograničavajući čimbenik.

Sposobnost prezimljavanja biljaka miskantusa ovisi o tolerantnosti na hladnoću njihovih rizoma. U umjetnom testiranju na smrzavanje, rizomi uzeti s polja u siječnju pokazali su da letalna temperatura pri kojoj 50% rizoma odumire (LT_{50}) za genotipove *M. x giganteus* i *M. sacchariflorus* iznosi -3,4°C. Međutim, jedan hibridni genotip *M. sinensis* imao je LT_{50} -6,5°C i taj je hibrid pokazao najveće preživljavanje u poljskim uvjetima Švedske i Danske (El Bassam, 2010.). U tlima bogatim humusom u Njemačkoj *M. sacchariflorus* bez problema može prezimjeti kod temperatura zraka do -21°C (Xi, 2000.). Neki genotipovi miskantusa uspješno su preživjeli u području Great Lakes u Kanadi, gdje je tijekom zime srednja temperatura bila i niža od -40°C (Green, 1991.).

Prisutnost debelih pupova oko točke rasta, kao i spavajućih pupova na rizomima u tlu, miskantusu daje otpornost i na lagane proljetne mrazove (Rutherford i Heath, 1992.). Na temperaturama nižim od -5°C razvijeni izbojci i listovi odumiru.

Na slici 25 prikazani su tek izniknuli izboji miskantusa stradali od kasnoga proljetnog mraza i snijega. Vidljivi su smeđi odumrli izboji, ali i puno zelenih, preživjelih izboja, od kojih su neki naknadno niknuli iz spavajućih pupova na rizomima.

Uzgoj i korištenje miskantusa (*Miscanthus* sp.)



Slika 25. Početni porast miskantusa nakon kasnoga proljetnog mraza

Prva pojava mraza u jesen predstavlja kraj sezone rasta za *Miscanthus* (Bunting, 1978.). Otprilike u to vrijeme zrenje usjeva je ubrzano, hraniva se pohranjuju u rizome i počinje sušenje biljke.

Temperature tijekom vegetacijske sezone uvelike utječu na prinos miskantusa. Razlog je njegova pripadnost C_4 biljkama koje su učinkovitije na visokim temperaturama i intenzitetima svjetlosti. Iako miskantus preferira toplije klimete, dokazano je da može učinkovito rasti diljem Europe. Još nisu utvrđene optimalne temperature rasta ove kulture kao ni njihov raspon, ali pokusi pokazuju jaku interakciju okoline i genotipa. Poljski pokusi pokazali su da u sjevernim dijelovima Europe hibridi *M. sinensis* daju prinose do 25 t ST ha^{-1} , u srednjoj i južnoj Europi hibridi *M. x giganteus* do 38 t ST ha^{-1} , a specifični visokorodni hibridi *M. sinensis* čak do $41 \text{ t ha}^{-1} \text{ ST}$ (Clifton-Brown i sur., 2001b, Lewandowski i sur., 2003.).

Maksimalna je učinkovitost pretvaranja primljene svjetlosti u biomasu kod C_4 biljaka 40% veća od C_3 vrsta, koje čine većinu vegetacije i usjeva zapadne Europe (Monteith, 1977.). Međutim, C_4 biljke osjetljive su na štete od niskih temperatura, a njihov slab porast tijekom hladnog vremena u proljeće i rano ljeto u regijama npr. sjeverne Europe mogu smanjiti proizvodni potencijal biomase. Međutim, *Miscanthus* je iznimka među C_4 biljkama. Većina C_4 biljaka nije sposobna obavljati fotosintetske procese kod temperature niže od 12°C . Čak i kukuruzni hibridi koji se uzgajaju u zapadnoj Europi imaju slabu fotosintetsku aktivnost na 12°C , te smanjen razvoj fotosintetskog aparata u lišću na temperaturama nižim od 17°C (Long, 1999.).

Istraživanja u kontroliranim uvjetima pokazuju da *Miscanthus x giganteus* reagira različito od hibrida kukuruza namijenjenih zapadnoj Europi. Biljkama *Miscanthus x giganteus* raslim neprekidno na dnevnim temperaturama 8°C, 12°C i 25°C (kontrolirani uvjeti) uspoređivan je fotosintetski kapacitet. Neočekivano i u suprotnosti sa svim prethodno istraživanim C₄ vrstama (Long, 1983., Nie i sur., 1992.) listovi *Miscanthus x giganteus* rasli na 12°C imaju isti fotosintetski kapacitet kao i lišće biljaka uzgajanih na 25°C. Rast na 8°C rezultira 50%-tnim smanjenjem fotosintetskog kapaciteta, što sugerira da se temperaturne granice za oštećenje fotosintetskog aparata kod miskantusa kreću između 8 i 12°C. Pokazalo se da *M. x giganteus* izložen jakoj svjetlosti na 5°C izgubi oko 50% maksimalnog prinosa, te >50% maksimalne fotosintetske učinkovitosti (Long i Beale, 2001.). Iz navedenih parametara može se zaključiti da fotosinteza u listovima *M. x giganteus* kontinuirano pada do temperatura <5°C, dok biljke mogu stvarati fotosintetski sposobne listove do 8°C, a fotosintetski kapacitet nedirnut je na temperaturama od 12°C. To sugerira da su temperaturne granice za fotosintezu i razvoj fotosintetskog aparata 3-5°C niže od temperaturnih granica za kukuruz.

Dakle, *M. x giganteus* ima visoku učinkovitost korištenja svjetlosti u umjerenim klimatskim područjima, što se može pripisati izvanrednoj sposobnosti biljke da zadrži fotosintezu na niskim temperaturama. To je u suprotnosti sa svim prethodno istraživanim C₄ vrstama, koje pokazuju jasno oštećenje fotosintetskog kapaciteta na sličnim temperaturama (Long, 1999.).

Voda

M. sacchariflorus preferira humidnije uvjete i tolerantniji je na poplave nego *M. sinensis*. *M. x giganteus* je po zahtjevima za vlagom negdje između ovih dviju vrsta. Iako na vlažnim staništima usjev miskantusa proizvodi više nadzemnih izboja, na sušim staništima proizvodi više rizoma, i to zbog izostanka poplave, što pridonosi njegovoj dugotrajnosti (Yamasaki, 1981.).

Povećanje produktivnosti rezultira povećanim zahtjevima za vodom, a posljedično voda može postati ograničavajući čimbenik za produktivnost i ekonomsku održivost usjeva. Sve dok su potencijalne ekonomske koristi od uzgoja energetske usjeve niže u odnosu na konvencionalne ratarske usjeve, farmeri će energetske usjeve zasnivati na manje produktivnim tlima. U mnogim slučajevima niska produktivnost takvih tala rezultat je loše dostupnosti vode. Problem nedostatka vode može se ublažiti navodnjavanjem, ali dodatna ulaganja mogu smanjiti ekonomsku održivost usjeva.

Uzgoj i korištenje miskantusa (*Miscanthus* sp.)

Stoga je poželjno odabrati vrste koje pokazuju visoku učinkovitost korištenja vode, odnosno vrste koje postižu maksimalnu produktivnost uz minimalnu potrošnju vode. U teoriji, C₄ vrste pokazuju veću učinkovitost korištenja vode od C₃ vrsta (Long, 1983.).

Iako *M. x giganteus* postiže visoku učinkovitost korištenja vode, ipak će zahtijevati i navodnjavanje na većini mjesta kako bi izrazio maksimalni potencijal prinosa (Beale i Long, 1997a, Bullard i sur, 1997.). Međutim, navodnjavanje može utjecati na ekonomsku održivost usjeva. Unatoč visokoj učinkovitosti iskorištenja vode, *M. x giganteus* pozitivno reagira na dodatnu opskrbu vodom zbog visoke proizvodnje biomase. Analize pokazuju da je potrebno više od 500 mm vode tijekom vegetacije kako bi se postignuo maksimalan prinos približno 30 t ST/ha.

Iako se *Miscanthus* može uspješno uzgajati i bez navodnjavanja u sjevernim i srednjoeuropskim regijama, navodnjavanje je ipak potrebno za znatan rast prinosa biomase u južnoj Europi. U uvjetima južne Europe uočeno je nicanje miskantusa od sredine do kraja travnja, ovisno o klimatskim uvjetima. Rast biljaka iznimno je brz, dosežu visinu i do 2,5 m do kraja lipnja, a konačnu visinu od sredine kolovoza do sredine rujna. Navodnjavanje nema znatnijeg utjecaja na visinu biljke tijekom početnoga vegetacijskog razdoblja, što se može pripisati visokoj vlažnosti tla u tom dijelu godine. Međutim, utvrđeno je da navodnjavanje znatno utječe na visinu biljke od kraja lipnja do kraja vegetacijske sezone (Christian i Haase, 2001.).

M. x giganteus u uvjetima južne Europe pokazuje brz početni porast i nagomilavanje suhe tvari. Maksimalan prinos biomase u Grčkoj bilježi se u kolovozu, u Italiji u listopadu, a zatim slijedi pad prinosa biomase do kraja vegetacijske sezone (Christian i Haase, 2001.). Intenzitet navodnjavanja znatno utječe na prinos ST, tako da smanjeno navodnjavanje znatno smanjuje prinos ST, pogotovo nakon srpnja. Umjereno navodnjavanje također rezultira nižim prinosom ST u odnosu na intenzivno navodnjavanje. Rezultati istraživanja pokazuju da udvostručavanje intenziteta navodnjavanja (količina vode po jedinici površine) može rezultirati povećanjem prinosa ST od samo 10,4-30,4%. Prema tome, u područjima južne Europe koja se suočavaju s nestašicama vode može se preporučiti uzgoj miskantusa u uvjetima umjerenog navodnjavanja i čuvanje vode za druge potrebe sve dok se dramatično ne ugrozi prinos. Utvrđeno je i da miskantus uspješno raste na tlima s visokom razinom podzemne vode (Christian i Haase, 2001.). U područjima s visokim razinama podzemnih voda može se uspješno uzgajati bez navodnjavanja s tek nešto manjim prinosom suhe tvari u odnosu na potpuno navodnjavane parcele. Ti rezultati upućuju na to da miskantus ima sposobnost korištenja podzemne vode. Visina biljke, broj listova i prinos ovise o navodnjavanju ondje gdje je razina podzemne vode niska. Iznimka je broj stabljika, koji ovisi više o gustoći sadnje nego o intenzitetu navodnjavanja (Long i Beale, 2001.). Iskustva zasnivanja miskantusa u različitim područjima RH govore o potrebi navodnjavanja u godini sadnje u mediteranskom i submediteranskom području, a u izrazito sušnim godinama i na

pličim tlima čak i u kontinentalnoj Hrvatskoj. Na slici 26 jasno je vidljiv utjecaj dostupnosti različitih količina vode na porast miskantusa u godini sadnje na različitim lokacijama (rujan 2011., Knin i Donja Bistra).



Slika 26. Utjecaj opskrbe vodom na miskantus u godini sadnje (lijevo okolica Knina-utjecaj suše; desno D. Bistra-dovoljna opskrba vodom)

Tlo

Osim temperature i vode tijekom vegetacijskog razdoblja, vrsta i kvaliteta tla također su važni čimbenici o kojima ovisi produktivnost miskantusa. Fizikalna svojstva tla određuju učinkovitost gnojidbe i potrebe za vodom. Miskantus nema nekih posebnih zahtjeva prema tlu, jer uspješno raste na većini oraničnih tala. Pjesci i pjeskovite ilovače koje sadržavaju više od 10% gline prikazani su kao preferirajuća tla u Danskoj (Knoblauch i sur., 1991.). Uspjeh uzgoja ove kulture na pjeskovitim i vrlo skeletoidnim tlima ovisi o dostatnoj količini oborina. Dobri su prinosi, također, utvrđeni i na dobro dreniranim tlima s visokim sadržajem humusa.

Za uspješno zasnivanje usjeva miskantusa u travnju i svibnju tlo treba dobro aerirati i kvalitetno predsetveno pripremiti. Tlo također mora biti sposobno izdržati mehanizaciju tijekom žetve, tako da vlažna, tresetna tla nisu prikladna za uzgoj ove kulture.

Uzgoj i korištenje miskantusa (*Miscanthus* sp.)

Miskantus ima duboko korijenje (>1 m), tako da zahtijeva dublja nizinska i dolinska tla. Istraživanja u Japanu upućuju na to da *M. sinensis* bolje raste na dubokim humusima konkavnih nagiba (Numata, 1975.). Tekstura tla, boja i pH također mogu uzrokovati dinamiku rasta miskantusa. Tamnija tla lakše teksture pomažu bržem rastu miskantusa. U Kini *M. sacchariflorus* u prirodi raste uglavnom na tamnim, kiselim nizinskim tlima, ali se dobro razvija i na žućkastim lesiviranim tlima pH 7-8 (Xi, 2000). Podaci iz Danske i UK sugeriraju da je optimalan pH za rast miskantusa između 5,5 i 7,5 (Knoblauch i sur., 1991.). To isključuje vrlo kisela i vrlo alkalna tla kao potencijalna tla za optimalan uzgoj ove kulture. Slana tla nisu pogodna za uzgoj miskantusa (Xi, 2000.), iako su neki genotipovi *M. sacchariflorus* tolerantni na sadržaj soli do 1%, i to uz smanjen rast i prinos biomase.

U istraživanjima o pogodnosti različitih tala za uzgoj *Miscanthusa* Hotz i sur. (1996.) zaključuju:

- tlo pogodno za uzgoj kukuruza vjerojatno je prikladno i za miskantus
- najprikladnija su tla za uzgoj miskantusa pješčane ili praškaste ilovače s dobrim kapacitetom za zrak, visokim kapacitetom za vodu i visokim sadržajem organske tvari
- maksimalan prinos ne može se postignuti ako se usjev uzgaja na plitkim tlima u kombinaciji s dugim, sušnim razdobljem tijekom ljeta, iako su zasnivanje usjeva i njegovo preživljavanje mogući
- hladna i teška tla, plavljena tla (npr. glina) nisu pogodna za uzgoj miskantusa, što je dokazano u eksperimentalnim istraživanjima na glinenim tlima, gdje biljke ne dostignu puni razvoj do pete godine i karakteristične su po niskom rastu (maksimalna je visina biljke oko 1,5 m) i malom broju stabljika
- rast miskantusa na pjeskovitim tlima s niskim kapacitetom za vodu je moguć, ali su prinosi u takvim uvjetima niski

Na slici 27 prikazan je usjev miskantusa zasnovan na tlu lošije kvalitete (kamenito i suho tlo), dok je na slici 28 prikazan nasad zasnovan na kvalitetnijem tlu.



Slika 27. Prva godina miskantusa na plitkom i kamenitom tlu-okolica Knina (rujan 2011.)



Slika 28. Prva godina miskantusa na tlu normalne dubine-Medvednica (rujan 2011.)

Uzgoj i korištenje miskantusa (*Miscanthus* sp.)

Vjetar i polijeganje

Vjetar također igra ulogu u uspješnom uzgoju miskantusa. Prije lignificiranja izdužene stabljike postoji opasnost od polijeganja usjeva i/ili oštećivanja listova kod jakih vjetrova. Zaštita usjeva od vjetra također reducira hlađenje usjeva, ali može biti i odgovorna za sprječavanje rasta biljaka (Bunting, 1978.). Jak vjetar može uzrokovati polijeganje usjeva miskantusa ostavljenih u polju na prirodnom sušenju (za proljetnu žetvu), što može otežati žetvu (slika 29).



Slika 29. Polijeganje zrelog usjeva

Agrotehnika

Zasnivanje usjeva

Obrada tla

Kod zasnivanja nasada miskantusa mora se imati na umu da je riječ o dugotrajnoj kulturi (najmanje 15 godina) i da obradi tla treba posvetiti posebnu pozornost. S obzirom na to da se miskantus sadi na velike međuredne razmake i razmake u redu (0,75-1,0 m), velika je opasnost od zakorovljavanja nasada u godini sadnje. Pravilno pripremljeno tlo za sadnju smanjuje taj rizik i u konačnici donosi manje troškove zaštite protiv korova. Najbolje je primijeniti jedan od sustava obrade tla za jare kulture. On uključuje duboku jesensko oranje na dubinu oko 30 cm (pa i dublje ako je moguće), s ciljem skupljanja vlage u hladnom i vlažnom razdoblju jeseni i zime i čuvanja u toplom dijelu godine. Pritom vrijedi provjereno agrotehničko pravilo: duboko uzorati prije očekivanog nastupa jesenskoga kišnog maksimuma, bez obzira na to hoće li se te godine javiti u uobičajenim datumima. Preporuka je prije dubokog oranja primijeniti jedan od totalnih herbicida, zbog suzbijanja višegodišnjih korova. Duboko oranje treba tijekom zime ostaviti u gruboj brazdi, ali ne valja da ostane jače grebenasto, jer nejednolično izmrzava i poslije se teško priprema za sjetvu. Dakle, poželjno je da tlo ne bude jače grebenasto pa se čak brazde ravnaju prije zime, najbolje tanjuračama. Duboko oranje koristi se i za obavljanje redovite gnojidbe. Odmah nakon prestanka zime, a pogotovo ako se tlo nalazi u stanju ugorenosti od mraza, brazda se može zatvoriti (blanjanjem, drljanjem, tanjuranjem ili kombiniranim oruđima, ovisno o tome u kakvu je stanju). Ako do sadnje miskantusa (najčešće kraj travnja u kontinentalnom području) niknu korovi, kultivacijom ili kemijskim putem treba ih ukloniti s površine na koju sadimo miskantus.

Sadni materijali

Sjeme

Iako je sjeme najjeftiniji oblik biljnog razmnožavanja, postoje ograničenja u dostupnosti sjemena. Uz to neke vrste ne proizvode klijavo sjeme. Primjerice *M. x giganteus* uopće nema sjemena, zbog svojih triploidnih svojstava. Za druge je vrste testirana dugotrajnost klijavosti sjemena i rezultati upućuju na to da dugotrajno skladištenje u hladnim uvjetima nema negativan utjecaj na dugotrajnost plodnog sjemena, ali i da vlaga smanjuje njegovu dugotrajnost. Klijavost sjemena skladištenog u sobnim uvjetima šest mjeseci drastično se smanjuje. Klijavost se potpuno gubi nakon skladištenja sjemena na sobnim temperaturama dulje od 12 mjeseci. Sposobnost klijanja sjemena čuvanog u hladnjacima do 24 mjeseca ne opada (El Bassam, 2010.). U prirodnim uvjetima u Tajvanu sjeme miskantusa može izgubiti klijavost šest mjeseci poslije raspršivanja vjetrom (Hsu, 2000.). U hladnijim područjima sjeme miskantusa preživljava dulje. Sjeme *M. sacchariflorus* dobro klija sve do 24 mjeseca poslije fiziološke zrelosti.

Dubina sjetve miskantusa vrlo je plitka zbog sitnoće sjemena. Održavanje vlažnosti vrlo je važno za klijanje i preživljavanje mladih klijanaca. U normalnim uvjetima (20-30°C) sjeme klija 7-14 dana poslije sjetve (El Bassam, 2010.).

U Europi nije došlo do komercijalnog širenja miskantusa sjemenom, i to zbog brojnih razloga:

- Vegetacijsko razdoblje srednje i sjeverne Europe prekratko je za proizvodnju zrelih i plodnih sjemenki (El Bassam i sur., 1992., Lewandowski i Kahnt, 1993.).
- *M. x giganteus* je triploidni, međuvrtni hibrid i stoga praktički sterilan. Iako se u staklenicima južne, srednje i sjeverne Europe proizvode plodne sjemenke, morfologija potomstva vrlo je varijabilna (Linde-Laursen, 1993.).
- Čak i kad se dobije fertilno i genetski stabilno sjeme, sjetva takva sjemena u poljskim uvjetima srednje i sjeverne Europe čini se neučinkovitom, i to zbog izostanka otpornosti na zimu tih vrlo mladih biljčica (El Bassam i sur., 1992.). Danski institut (DIAS) izvještava da i u slučaju uspješnog prezimljavanja klijanaca iz sjemena treba nekoliko godina za njihov potpuni razvoj, što zahtijeva visoke utroške herbicida u kontroliranju korova tijekom te faze razvoja usjeva.

Zbog navedenih razloga, za komercijalnu proizvodnju miskantusa u Europi koristi se isključivo vegetativno razmnožavanje.

Rizomi (podanci) - reznice rizoma

Miskantus se razmnožava vegetativno pomoću rizoma, tj. reznica rizoma, koji se koriste za izravnu sadnju u polju. Dobro zasnivanje usjeva miskantusa postiže se sadnjom velikih reznica rizoma na dubinu od 10 cm, mada je utvrđeno da dubina sadnje od 20 cm rezultira povećanim zimskim preživljavanjem biljaka u prvoj godini. Uspješno zasnivanje usjeva miskantusa moguće je jedino kad se velike reznice rizoma (oko 20 cm dužine) s puno pupova sade na dubinu od najmanje 20 cm (Eppel-Hotz i sur., 1997.). Veličina rizoma utječe na preživljavanje biljaka i uspješnost sadnje, tako da je 34% nicanja utvrđeno kod sadnje malih reznica rizoma (<10 cm) u usporedbi sa 82% nicanja biljaka iz većih reznica rizoma (>10 cm). Od biljaka razvijenih iz malih rizoma zimu preživi njih 91%, a od većih rizoma 94% (Jørgenssen, 1995.). Prezimljavanje biljaka u velikoj mjeri ovisi o dužini reznica i o tome jesu li rizomi bili skladišteni prije sadnje. Zabilježeno je preživljavanje od samo 9% kod biljaka čiji su rizomi skladišteni. Slične rezultate dobili su i Huisman i Kortleve (1994.), koji su zabilježili stopu nicanja 70-95% kod rizoma zasađenih odmah nakon žetve matičnih biljaka, od kojih su rizomi dobiveni, u usporedbi sa 50-60% nicanja kod rizoma skladištenih prije sadnje. Nizozemska istraživanja upućuju na to da sadnja rizoma težine >50 g u kratkom razdoblju nakon žetve rezultira uspješnim razvojem biljke (91-98% nicanja) (Christian i Haase, 2001.).

U DIAS-u su uspoređivane uspješnost sadnje vrsta *M. x giganteus* i *M. sinensis* „Goliath“ rizomima i prijesadnicama. Kulturom tkiva dobivene prijesadnice bile su visoke 5-30 cm i rasle su u posudicama 6 cm promjera, dok su rizomi dobiveni rotacijskom kultivacijom matičnih biljaka i zaorani na dubinu 15-20 cm. Na kraju vegetacijske sezone visina usjeva dobivenog iz rizoma bila je 2,9 (kod *M. x giganteus*) i 2,2 puta (kod *M. sinensis* „Goliath“) veća od usjeva dobivenog iz prijesadnica. Prinos ST usjeva razvijenog iz rizoma bio je 6,4 (kod *M. x giganteus*) i 12,8 puta (kod *M. sinensis*) veći od prinosa ST usjeva razvijenog iz prijesadnica. Prezimljavanje biljaka nastalih iz reznica rizoma bilo je znatno veće od biljaka dobivenih iz prijesadnica (Christian i Haase, 2001.).

Ukupno gledajući, uspješno zasnivanje usjeva miskantusa moguće je sadnjom rizoma ili dijelova rizoma. Čimbenici koji utječu na razvoj usjeva i njegovo prezimljavanje svakako su veličina rizoma, dubina sadnje i skladištenje prije sadnje. Rezultati različitih istraživanja upućuju na najbolje rezultate zasnivanja usjeva miskantusa kod sadnje velikih, zdravih rizoma/reznica rizoma (oko 20 cm dužine), neskladištenih prije sadnje i posadenih na 20 cm dubine tla. Istraživanja također pokazuju da sadnja rizoma rezultira boljim rastom, većim prinomom suhe tvari i boljim prezimljavanjem od sadnje biljaka dobivenih mikropropagacijom (Christian i Haase, 2001.).

Istraživanja agrotehničkih zahvata u Danskoj (Knoblauch i sur., 1991.) i Njemačkoj (Sutor i sur., 1991.) fokusirala su se na *M. x giganteus*. Preporuka je da se mlade biljke

Uzgoj i korištenje miskantusa (*Miscanthus* sp.)

(prijesadnice) i uskladišteni rizomi sade kad je temperatura tla na dubini sadnje 10°C i više. Ta temperatura otprilike odgovara razdoblju od kasnog travnja do početka lipnja, ovisno o području Europe. Važni su čimbenici kod sadnje dostatna vlaga tla, dobro pripremljen oranični sloj i izbjegavanje stradavanja mladih biljaka od kasnih mrazova.

Reznice rizoma uspješno se sade mehanizacijom za sadnju krumpira, dok je mehanizacija koja se koristi u šumarskom rasadničarstvu i povrćarstvu prikladna za sadnju prijesadnica.

Rezultati istraživanja u Danskoj sugeriraju da prijesadnice moraju biti visoke najmanje 30-35 cm, te da imaju snažan korijen i minimalno jedan izboj. Kod sadnje rizoma preporučuje se da njihova dužina bude najmanje 10 cm, premda u optimalnim uvjetima sadnja može biti uspješna i s rizomima dugim oko 5 cm. Preporučena je dubina sadnje 5-7 cm. Kod sadnje prijesadnica raslih u posudicama preporučuje se da vrh supstrata za zakorjenjivanje bude pokriven sa 2 cm tla (El Bassam, 2010.).

Iz Njemačke i Danske dolaze neznatno različite preporuke oko razmaka sadnje vrste *M. x giganteus*. Njemački istraživači preporučuju razmak između biljaka u redu 0,7-1,0 m, a 0,8-1,0 m između redova. Pokusi s jednom, dvije ili tri biljke po m² utvrdili su da veća gustoća sklopa rezultira većim prinosom suhe tvari. Jedina je iznimka utvrđena kod *M. x giganteus*, koji je u drugoj godini imao najveći prinos kod sadnje 2 biljke/m² (Kolb i sur., 1990.). Preporučeni razmak sadnje u Danskoj je 0,75 m između dvaju redova, pa 1,75 m razmaka do drugih dvaju redova itd., a 0,8-1,0 m između biljaka u redu. Na pokusnim poljima u RH korišteni su razmaci od 1 m između redova i unutar redova (1 biljka/m² odnosno 10.000 biljaka/ha) i usjev *M. x giganteus* na kraju je vegetacijske sezone godine sadnje imao 9-13 stabljika/m², na kraju druge uzgojne godine 22-30 stabljika/m², na kraju treće godine 33-49 stabljika/m², a na kraju četvrte godine 48-62 stabljike/m² ovisno o lokaciji (Leto i sur., 2016.).

Na slici 30 prikazana je reznica rizoma spremna za sadnju.

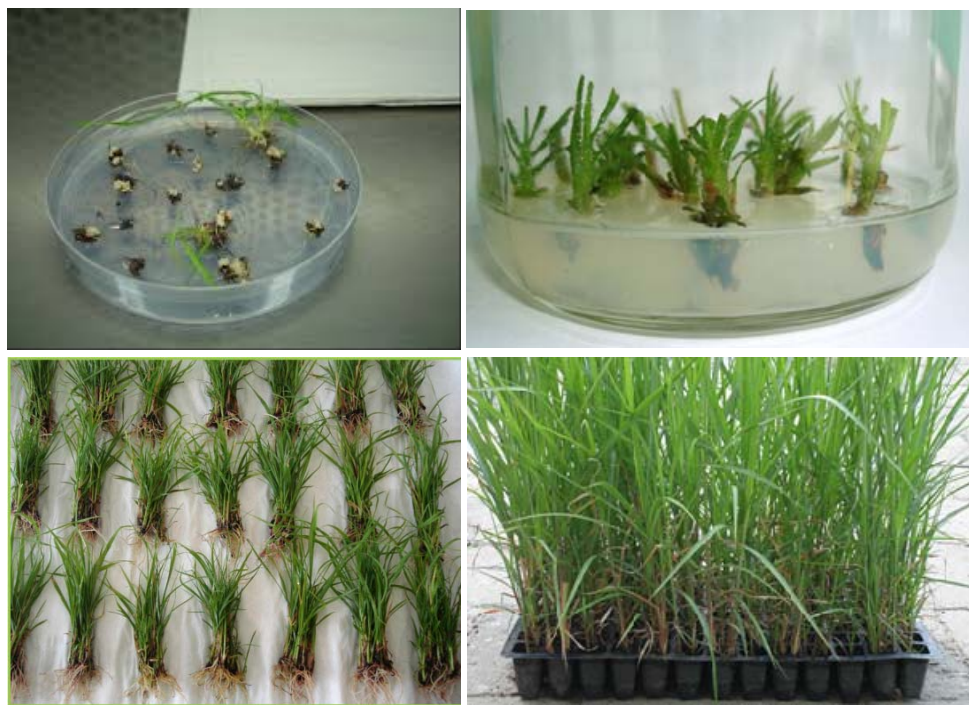


Slika 30. Reznica rizoma

Mikropropagacija/kultura tkiva

Konvencionalna mikropropagacija čini se preskupom za dobivanje ekonomski isplative komercijalne proizvodnje miskantusa, iako se u posljednje vrijeme i to mijenja. Istraživanja na mikropropagaciji upućuju na to da *M. x giganteus* (slika 31) može biti korišten za razvoj morfogenog kalusa i kulture biljnih stanica u suspenziji (Peterson i Holme, 1994.). Dobra regeneracija biljke iz kalusa upućuje na mogućnost komercijalne primjene ove metode. Već postoje komercijalni laboratoriji koji proizvode prijesadnice tehnologijom kulture tkiva (mikropropagacijom).

Uzgoj i korištenje miskantusa (*Miscanthus* sp.)



Slika 31. Mikropropagacija biljke *Miscanthus x giganteus*
(www.vitrogen.eu)

Prijesadnice

Kako je prethodno i navedeno, miskantus se može posaditi i prijesadnicama (slika 32). Za njihovo dobivanje koristi se tehnologija kulture tkiva (in vitro), dakle mikropropagacija. Rokovi sadnje prijesadnica pomjeraju se u dio godine kad više nema opasnosti od kasnih mrazova. Prednost je takva zasnivanja nasada miskantusa dulje vrijeme za kvalitetnu pripremu tla i uklanjanje višegodišnjih korova. Idealno je tlo predstetveno pripremiti nekoliko dana prije sadnje. Sadnja prijesadnica obavlja se prilagođenim sadilicama za prijesadnice povrća (slika 33). Dubina sadnje prilagođava se dubini supstrata u kojem je zakorijenjena prijesadnica (7-10 cm). Razmak sadnje može se regulirati kao kod reznica rizoma.



Slika 32. Prijesadnice miskantusa



Slike 33. Sadnja prijesadnica miskantusa

Dijelovi stabljike

Širenje miskantusa moguće je i pomoću reznica stabljike. Najpogodnije je vrijeme za rezanje stabljika od kraja srpnja do kraja kolovoza. Dio odrezane stabljike mora sadržavati dobro razvijene nodalne pupove. Najbolji rezultati postižu se korištenjem prvih dvaju nodija iz podnožja stabljike. Ako se reznice stabljike pripremaju ljeti treba ih skladištiti tijekom zime u nesmrzavajućoj okolini, kao što su hladni staklenici (dodatno grijanje nije potrebno).

Biljke razvijene od dijelova stabljike proizvode malo izboja, ali su ti izboji snažni i čini se da se takve biljke razvijaju na sličan način kao i one uzgojene iz rizoma. Od jedne matične stabljike može se dobiti 6-7 biljaka. Reznice stabljika većih promjera i dužina bolje se razvijaju od manjih reznica. Biljke iz reznica stabljika mlađih jednogodišnjih ili dvogodišnjih biljaka raslih u stakleniku ne razvijaju se tako dobro

Uzgoj i korištenje miskantusa (*Miscanthus* sp.)

kao one od šestogodišnjih biljaka, što je direktno povezano s većim promjerom starijih biljaka. Također, utvrđeno je da se bazalne reznice ukorjenjuju brže od vršnih reznica (Christian i Haase, 2001.).

Rokovi sadnje

Datum sadnje treba biti dovoljno kasno da se izbjegnu jači proljetni mrazovi, ali i dovoljno rano da se omogući dobro zasnivanje usjeva, njegov rast i pohrana pričuvnih hraniva u rizome prije zimskih hladnoća. Općenito, rizomi i dijelovi rizoma sade se ranije od prijesadnica jer su manje izloženi mrazu (sade se na dubinu tla 10-20 cm). Tipičan rok sadnje rizoma može biti od ožujka do svibnja, ovisno o klimatu (u kontinentalnom dijelu RH potkraj travnja/početkom svibnja), dok je rok sadnje za prijesadnice kasni travanj do kraja svibnja, zbog izbjegavanja mraza i povećanja broja primljenih biljaka (boljeg sklopa).

Oprema za sadnju

Oprema koja se koristi pri sadnji miskantusa ovisi o sadnom materijalu (sjeme, rizomi, prijesadnice). Može se koristiti oprema namijenjena za sadnju drugih kultura, s tim da je prilagođena postojećem sadnom materijalu ili posebno konstruirana za sadnju miskantusa. Sijanje miskantusa sjemenom može se obaviti pomoću postojeće opreme, kao što je npr. sijačica za šećernu repu. Međutim, kako je već i navedeno, mala je vjerojatnost za korištenje sjemena miskantusa za podizanje usjeva.

Za sadnju prijesadnica mogu se koristiti sadilice prijesadnica povrća s grudom supstrata, koje mogu biti poluautomatskog ili automatskog tipa.

Za sada je sadnja rizoma prepoznata kao najčešći način zasnivanja nasada miskantusa te su razvijene poluautomatske sadilice rizoma (slika 34), na kojem radi četiri do šest osoba. Rizomi se ručno ubacuju u sadnu cijev (promjera 15 cm) na lagani signal koji se javlja u skladu sa zadanim razmakom između biljaka. Udaljenost između redova je 75-100 cm, dok razmak unutar redova ovisi o zahtjevima prema gustoći usjeva, koji se prilagođava brzinom traktora

Međutim, u posljednjih nekoliko godina za podizanja ekstenzivnih usjeva na većim površinama sadnja se obavlja pomoću specijalnih sadilica za *Miscanthus* (slika 35). Sve ih karakterizira dobar radni učinak (manje izvedbe 5 ha h⁻¹, veće 10-25 ha h⁻¹),

dok je on kod sadilica za krumpir znatno manji ($0,3 \text{ ha h}^{-1}$), ali su one i dalje prikladne za manje površine. Nadalje, automatske/poluautomatske izvedbe specijalnih sadilica za *Miscanthus* rezultiraju većom ekonomskom isplativošću s obzirom na radni učinak i zahtjev prema samo jednom/dvoje operatera. Konstruirane su tako da mogu saditi 2-6 redova, ovisno o izvedbama. Raonici otvaraju površinu te se rizomi automatski poliježu u otvorenu brazdu, nakon čega slijedi ponovno prekrivanje rizoma zemljom uz neposredno valjanje. Valjci su uglavnom sastavni element u konstrukcijama specijalnih sadilica, za razliku od sadilica za krumpir gdje se valjanje može obaviti kao zaseban zahvat. Specijalne sadilice za *Miscanthus* imaju visok spremišni kapacitet za rizome od 5 tona, što pozitivno utječe na brzinu i učinkovitost sadnje (Jones i Wals, 2001.; Jørgensen S. U., 2007.; Caslin i sur., 2010.; Poenaru i sur. 2012., Bilandžija i Sito, 2013.).



Slika 34. Poluautomatska adaptirana sadilica rizoma



Slika 35. Specijalna automatska sadilica rizoma (www.newenergifarms.com)

Sadnja se na manjim površinama može obaviti i ručno (slika 36). Ta se metoda može koristiti i za eventualno popunjavanje praznih mjesta u nasadu miskantusa. Dovoljno je na tlu pripremljenom za sadnju načiniti rupu dubine 10-20 cm, u nju položiti reznicu rizoma i pokriti zemljom uz lagano zbijanje. Drugi način može biti otvaranje brazde na određeni razmak plugom (slika 37), ručno polaganje reznica rizoma u brazdu na određenu dubinu i kasnije zagrtanje zemljom posadenih rizoma (branom) (slika 38). Može se konstruirati i više jednostrukih plužnih tijela na traktor, ali to traži i određeni broj ljudi koji drže plugove. Nakon sadnje brazde treba zatvoriti branom.

Uzgoj i korištenje miskantusa (*Miscanthus* sp.)



Slika 36. Ručna sadnja



Slika 37. Ručna sadnja u plugom napravljene brazde



Slika 38. Zatvaranje brazda

Prezimljavanje miskantusa u prvoj godini

Jedna od najvećih prepreka prilikom uspostavljanja usjeva miskantusa svakako je sposobnost usjeva da preživi prvu zimu. Sposobnost biljaka da prežive produljeno razdoblje smrzavanja rezultat je dormantnosti ili mirovanja (Greef, 1994.; Jørgenssen, 1995.; Eppel-Hotz i sur., 1997.). Dormantnost se inducira na kraju vegetacijskog razdoblja povećanom učestalošću nižih temperatura u jesen ili ranu zimu. Translokacija pričuvnih tvari u rizome, odumiranje lišća i stabljike, te povećanje dehidracije vode k mirovanju. Mlade, svježe propagirane biljke nisu sposobne postići stupanj mirovanja potreban za preživljavanje temperatura smrzavanja. Utvrđeno je da mikropropagirane prijesadnice intenzivno proizvode nove izboje, bez obzira na završavanje vegetacijske sezone (Boelke, 1995.). Pretpostavlja se da aplikacija hormona za pobuđivanje produkcije izboja kod mikropropagacije smanjuje dormantnost. Utvrđeno je da mikropropagirane biljke proizvode 15-20 malih izboja, u usporedbi s biljkama iz rizoma koje u prosjeku produciraju tri izboja. Potrebno je 3-5 godina za prevladavanje te pojave i vraćanje na uobičajeni tip razvoja izboja.

Postotak preživljavanja nezaštićenih rizoma pri izloženosti temperaturama od -5°C i nižima pada naglo i potpuno (Clifton-Brown, 1997.). Osjetljivost biljnog materijala na niske temperature ovisi o veličini i starosti rizoma, dubini i gustoći sadnje. I

Uzgoj i korištenje miskantusa (*Miscanthus* sp.)

kvaliteta tla utječe na preživljavanje rizoma. Najniža su preživljavanja na vlažnim tlima loše drenaže.

Čimbenici koji utječu na uspostavljanje usjeva miskantusa uključuju: dostupnost vode, temperaturu, vrstu sadnog materijala, datum sadnje i skladištenost rizoma prije sadnje. Usjevi miskantusa u srednjoj i sjevernoj Europi katkad ne prežive prvu zimu, što predstavlja veliku prepreku kod zasnivanja tog usjeva u tim područjima. Prezimljavanje usjeva u prvoj godini ovisi o:

- stanju dormantnosti biljke; dogodi se da mlađe biljke ne mogu postići dormantnost do prvog mraza, dok starije biljke rast završavaju obično ranije
- sposobnosti biljaka da pohrane kritične količine metaboličkih pričuva u rizome potkraj prethodne vegetacijske sezone
- načinu korištenog razmnožavanja (propagaciji) biljaka; razmnožavanje rizomima pokazuje višu stopu prezimljavanja od biljaka stvorenih mikropropagacijom koje ne proizvode dovoljno metaboličkih pričuva u svojim rizomima, niti su sposobne postići dovoljan stupanj dormantnosti za uspješno preživljavanje zimskih uvjeta
- učestalosti i trajanju zimskih mrazova; stupanj preživljavanja rizoma miskantusa pod jakim je utjecajem dužine trajanja smrzavanja.

Postoje naznake da preživljavanje tijekom zime može biti poboljšano zaštitnim mjerama, kao što su pokrivanje slamom i sl. Međutim, ove metode treba provjeriti daljnjim istraživanjima. Naša iskustva u zasnivanju usjeva miskantusa diljem RH govore da miskantus uspješno prezimljava u svim područjima, čak i za jakih zima i u gorskim područjima do 650 m nadmorske visine (Leto i Bilandžija, 2013.).

Gnojidba

Miskantus je višegodišnja zeljasta trava s rizomima, sa sposobnošću mobilizacije i remobilizacije hraniva između različitih organa. Iako životni vijek može biti dugogodišnji, njegovi listovi i stabljike traju jednu sezonu. Jedini su trajni organ rizomi s funkcijom vegetativnog razmnožavanja i skladištenja hraniva. Interno kruženje nutrijenata između nadzemnih i podzemnih organa omogućava žetvu biomase niskog sadržaja hraniva, ali komplicira kvantifikaciju i optimizaciju gnojidbe.

Izbojci miskantusa rastu iz pupova na rizomima u početku aktivnog rasta u proljeće. Rizomi su izvor hraniva koja pomažu početni porast dok stabljike i lišće ne počnu proizvoditi asimilate i podupirati novi rast.

Najveće usvajanje hraniva vjerojatno se događa neposredno prije proizvodnje najvećeg prinosa biomase, a to je vrijeme pod utjecajem uvjeta rasta. Miskantusu treba nekoliko godina rasta da dosegne najveće prinose i zahtjevi za hranivima povećavaju se tijekom tog razdoblja. Utvrđeno je da sadržaj hraniva u nadzemnoj masi pada nakon dosezanja najvećeg porasta, odnosno najvećeg usvajanja hraniva (Christian i Haase, 2001.). Dio tog pada uzrokovan je remobilizacijom (premještanjem) hraniva iz odumirućih listova i stabljika u rizome. Himken i sur. (1997.) proučavali su usvajanje hraniva u razvijenu usjevu i utvrdili da količine mobiliziranih i remobiliziranih hraniva mogu biti u rangu: 21-46% za N, 36-50% za P, 14-30% za K i 27% za Mg.

Utjecaj dušika na produkciju biomase

Poznato je da se povećanom primjenom dušičnih gnojiva povećava produktivnost poljoprivrednih kultura, ali i da to može rezultirati nizom ekoloških problema uključujući i potencijalna onečišćenja voda. Nadalje, troškovi energije potrebne za proizvodnju gnojiva visoki su, zbog čega se sve više javlja potreba za ekološkom proizvodnjom usjeva za biomasu. Potencijalne ekološke prednosti uzgoja energetskih usjeva mogu biti poništene ako su velike količine gnojiva nužne za njihovu proizvodnju. Stoga je ekološki poželjno da energetske usjeve za dobivanje biomase budu odabrani od vrsta koje pokazuju visoku učinkovitost korištenja hraniva uz minimalne gubitke u okoliš.

M. x giganteus, kao rizomatska višegodišnja trava, ima mogućnost translokacije hraniva iz nadzemne mase u rizome na kraju svake vegetacijske sezone, tako da odumrle stabljike u žetvi imaju nizak sadržaj hraniva. Tako se minimalizira uzimanje hraniva iz tla i onečišćenje okoliša, dobiva visoko vrijedna energetska sirovina, a vraćena hraniva u rizomima koriste se za rast nadzemne mase iduće vegetacijske sezone.

Najveća je koncentracija dušika u *M. x giganteus* u početku vegetacijske sezone (Jodl i sur., 1996., Beale i Long, 1997b). Poslije se ta koncentracija u nadzemnoj biomasi razrjeđuje kako raste prinos suhe tvari, a potom počinje padati kako odmiče zrioba usjeva. Srednja koncentracija dušika nadzemne suhe tvari pada 83% tijekom vegetacijske sezone, od vrijednosti 21,9 mg g⁻¹ u srpnju na 5,0 mg g⁻¹ u veljači (Long i Beale, 2001.). Vrlo slične koncentracije dušika od 5,9 mg g⁻¹ i 6,1 mg g⁻¹ utvrđene su kod *M. x giganteus* i *M. sinensis* u vrijeme žetve u pokusima u Danskoj (Jørgensen,

Uzgoj i korištenje miskantusa (*Miscanthus* sp.)

1997.). Također, u odumrlim listovima utvrđena je znatno niža koncentracija dušika nego u zelenima, što upućuje na translokaciju dušika iz starijih listova. Stabljike imaju veće sezonske varijacije koncentracije dušika od drugih organa i koncentracija dušika u stabljikama počinje padati između lipnja i rujna, što se podudara s naglim povećanjem suhe tvari. Koncentracija dušika u rizomima varira manje od one u listovima i stabljikama pokazujući tendenciju pada od nicanja do sredine ljeta, te daljnje povećanje do veljače. Koncentracija dušika u korijenu općenito je niža nego u rizomima (Beale i Long, 1997b).

Koncentracija dušika u nadzemnoj masi *M. x giganteusa* je samo 15-30% koncentracije dušika utvrđene u C₃ usjevima pšenici i engleskom ljulju i 20-50% koncentracije dušika utvrđene u C₄ vrsti kukuruzu. Relativno niska koncentracija dušika u izbojima *M. x giganteusa* kod zimske žetve može se objasniti translokacijom i upućuje na učinkovito interno recikliranje dušika.

Svi dosadašnji rezultati istraživanja upućuju na to da visoki prinos *Miscanthus x giganteus* može biti dobiven bez visokih ulaganja u gnojidbu. Naime, izračunato je da bi dušični zahtjevi *M. x giganteus* s prinosom od 25 t/ha suhe tvari bili 93 kg/ha/god. (izračunava se na temelju vrijednosti godišnje akumulacije dušika) (Beale i Long, 1997b). Potrebe za dušikom opadaju nakon nekoliko godina, kad usjev miskantusa postigne najveću masu rizoma. Tada treba nadoknaditi samo godišnju količinu dušika iznesenog prinosom nadzemne mase. Eksperimentalni rezultati na usjevu *M. x giganteus* pokazuju da usjev usvoji samo 38% N iz apliciranog N gnojiva (Christian i sur., 1997a), a kao mogući razlog navodi se niska potreba biljke za N tijekom ranog porasta kad se aplicira gnojivo. Prema današnjim spoznajama, utjecaj pričuve hraniva pohranjenih u rizomima na početni porast jači je od vanjskih izvora dušika (Wiesler i sur., 1997.).

Utvrđen je općenito slab utjecaj različitih količina dušika na prinos biomase (Eghbal, 1993., Hotz i sur., 1993., Lewandowski i Kahnt, 1994., Himken i sur., 1997.). Istraživanja Shwarza i Liebharda (1995.) na dvije lokacije u Austriji utvrdila su znatan utjecaj dušika na prinos biomase, ali samo u pojedinim godinama. Rezultati ovih istraživanja pokazuju da najveći prinos biomase nije utvrđen kod najvećih količina primijenjenog dušika u svakoj godini, nego su najveći prinosi dosljedno utvrđeni na lokacijama s najviše oborina.

Pokusi u Grčkoj, Italiji i Velikoj Britaniji također su potvrdili ova istraživanja (Christian i Haase, 2001.). U Italiji je utvrđena znatna interakcija između količine N gnojiva i količine vode za navodnjavanje, a najveći prinosi dobiveni su u tretmanima s najvećom količinom dušika uz najveću količinu vode. Interakcija nije potvrđena kod N tretmana s najnižim dozama vode za navodnjavanje. To je istraživanje također utvrdilo da učinkovitost vode za navodnjavanje pada s povećanjem doze dušičnih gnojiva (Christian i Haase, 2001.). Bilandžija (2015.) tijekom trogodišnjeg istraživanja na više lokacija zaključuje da gnojidba dušikom od 60 kg/ha ne utječe znatno na produkciju biomase trave *Miscanthus x giganteus* u odnosu na negnojenu kontrolu.

Iznošenje hraniva prinosom

Već je istaknuto kako se usvajanje hraniva povećava odmicanjem starosti usjeva miskantusa. Često se napominje kako su miskantusu potrebne 3-4 godine za dozezanje pune zrelosti. U Engleskoj su izračunali iznošenje hraniva u drugoj i trećoj godini rasta. U trećoj godini svaka tona suhe tvari sadržavala je 8,14 kg N, 0,69 kg P i 8,74 kg K. To iznošenje hraniva (izuzev P) bilo je nešto veće od iznošenja u prethodnoj godini (Christian i Haase, 2001.).

Razlike u količini iznesenog N među različitim lokacijama istraživanja mogu biti uzrokovane razlikama u udjelu lišća u požnjevenoj biomasi, jer lišće sadržava veće količine N u odnosu na stabljike.

Malo je istraživanja o gnojidbenim potrebama miskantusa trenutno dovršeno, ali neke su kalkulacije napravljene u pogledu količine hraniva koja moraju biti vraćena u tlo za održavanje pravilnog balansa hraniva za miskantus (tablica 1).

Tablica 1. Količine hraniva koja moraju biti vraćena u tlo za održavanje pravilnog balansa hraniva za miskantus

Hranivo	Količina (kg ha ⁻¹)
Dušik (N)	50
Kalij (K ₂ O)	45
Fosfor (P ₂ O ₅)	21
Sumpor	25
Magnezij	13
Kalcij	25

Izvor Rutherford i Heath (1992.)

S obzirom na niske gnojidbene zahtjeve miskantusa, vjeruje se da tlo i atmosfera mogu osigurati/vratiti većinu hraniva potrebnih za njegov rast, ali i da s vremenom usjev treba pognojiti dušikom, fosforom i kalijem. Također, nužno je u pjeskovita tla koja sadržavaju manju koncentraciju od 3-4 mg/l magnezija dodati ovaj element.

Čini se da je 50 kg N, 21 kg P₂O₅ i 45 kg K₂O po ha dovoljno za osiguranje adekvatnog prinosa miskantusa (El Bassam, 2010.). Najbolje je vrijeme za primjenu gnojiva proljeće (poslije žetve prethodnog porasta, ako se koristi proljetni rok žetve), svakako prije početka nove vegetacijske sezone, odnosno prije pojave novih izboja miskantusa iz tla.

Uzgoj i korištenje miskantusa (*Miscanthus* sp.)

Sposobnost biljke da usvoji i pohrani velike količine hraniva upućuje na činjenicu da razvijeni usjev zahtijeva relativno niske količine gnojiva za svoj rast. Količina P i K iznesene požnjevenom biomasom (7,4 i 94,3 kg ha⁻¹, respektivno u trećoj godini rasta) mogu biti nadomještene gnojivima u istoj količini ili uvećanoj za budući veći rast u idućim godinama (Christian i Haase, 2001.).

Nema jasnih zaključaka glede utjecaja različitih količina dušičnih gnojiva na prinos miskantusa, što zahtijeva dodatna istraživanja. U nekim slučajevima slaba reakcija na dušičnu gnojidbu moguća je zbog povrata mineraliziranog dušika u tlo (mineralizacija raspadajućih žetvenih ostataka-lišća), dok u drugim slučajevima slaba reakcija može biti povezana s nedostatkom vode. Vjerojatno je optimalna ekonomski isplativa količina dušika niža od količine dušika potrebne za ostvarivanje najvećeg prinosa (Christian i Haase, 2001.).

Kontrola korova

Kontrola korova važan je čimbenik, pogotovo tijekom zasnivanja usjeva i eventualno godinu poslije. Preporučuje se prije sadnje uzgojnu površinu kompletno očistiti od višegodišnjih korova. S obzirom na to da je miskantus višegodišnja biljka, sa životnim vijekom 15 i više godina, cjelovito uklanjanje korova prije sadnje vrlo je važno, zbog toga što je poslije ta operacija otežana. Ako se ne kontroliraju, korovi će se s usjevom natjecati za svjetlo, vodu i hraniva, te time smanjiti prinos miskantusa. Natjecateljska moć korova ovisi o uzgojnoj godini usjeva (tj. njegove sposobnosti da nadjača korov), o jačini zakorovljenosti usjeva i raznolikosti korovnih vrsta (uzrokovanih lokacijom, dijelom vegetacijske sezone, klimom i predusjevom). Kontrola korova neophodna je za zasnivanje usjeva zbog sporoga početnog porasta miskantusa. Priprema tla za sadnju potiče sjemenke korova iz tla na nicanje. Osim toga, veliki razmaci između redova i unutar redova kod sadnje miskantusa omogućavaju korovima znatan prostor za širenje. U tom stadiju korovi mogu lako nadržati mlade biljčice miskantusa. Nije uvijek moguće koristiti herbicide neposredno poslije sadnje prijesadnica, jer one često pretrpe stres transporta. Kao posljedica toga nameće se mehanička kontrola korova kao jedina opcija u toj fazi zasnivanja usjeva, s obzirom na to da je usjev rijedak pa je isplativo obaviti mehaničku kontrolu korova.



Slike 39. i 40. Miskantus na tlu očišćenom (lijevo) i neočišćenom od korova (desno)

Za miskantus se mogu koristiti herbicidi koji se koriste i za kukuruz i druge žitarice. Bullard i sur. (1995.) navode da se sve aktivne tvari pogodne za žitarice mogu koristiti i za miskantus (uz iznimke nekih graminicida): bromoksinil, klopiralid, diklorprop, diflufenikan/izoproturon, fluroksipir, glifosat, izoproturon, metsulfuron metil, MCPA+diklorprop+MCPP itd.

Kad se uspostavi puna gustoća sklopa, klijanje novih korova dramatično se smanjuje, jedino na zasjenu tolerantni korovi kao npr. mišjakinja (*Stelaria media*) i neki drugi mogu opstati. Jednogodišnje vrste kao jednogodišnja vlasnjača (*Poa annua*) može predstavljati problem poslije odumiranja nadzemne mase u godini sadnje.

U prvoj sezoni poslije zasnivanja usjeva rani korovi mogu se uspješno kontrolirati pre-emergence aplikacijom glifosata, i to prije pojave izboja miskantusa na površini. Kad izboji niknu treba koristiti selektivne herbicide za suzbijanje jednogodišnjih dvosupnica. U idućim godinama utjecaj korova znatno se smanjuje, i to inicijalno s otpalim lišćem miskantusa, a poslije se i zatvaranjem sklopa sprječava dopiranje svjetla u niže slojeve usjeva, pa korovi koji prežive etioliraju i gube bitku s usjevom. Prskanje herbicida oko rubova plantaže također se može preporučiti.

Nakon sadnje i tijekom uspostave usjeva kontrola korova relativno je intenzivna. Međutim, kad se razvije usjev zahtjevi za suzbijanjem korova znatno se smanjuju.

Vlastito iskustvo u uspostavljanju usjeva miskantusa govori da se odlični rezultati u suzbijanju korova postižu prskanjem predusjeva (prije dubokog oranja) totalnim herbicidima (npr. glifosatom), te poslije sadnje a prije nicanja miskantusa kombinacijom herbicida, npr. Deherban (2,4-D)-2,5 l/ha translokacijski herbicid namijenjen za suzbijanje većine jednogodišnjih širokolisnih korova kao što su: loboda, poljska gorušica, obični kostriš, divlja rotkva, poljski mak, obična konica, rusomača, obični svinjak, poljska čestika, šair i dr., te za suzbijanje i nekih

Uzgoj i korištenje miskantusa (*Miscanthus* sp.)

višegodišnjih širokolisnih korova kao što su: poljski osjak, sivkasta grbica, poljski slak i dr. + Lontrel 300 (**klopivalid**) - 0,35 l/ha sistemično kontaktni herbicid namijenjen za suzbijanje širokolisnih korova: pelinolisne ambrozije, osjaka, kamilice, jarmena, samoniklog suncokreta, poljskog svinjaka, običnog kostriša, različka, maslačka, kužnjaka, slatkastog dvornika, crne pomoćnice, grahorice, mišjakinje i čička.

Ova je kombinacija herbicida uspješno djelovala i poslije nicanja miskantusa, pa čak i kod fenofaze 7-9 listova odnosno kod 50-75 cm visine miskantusa (slike 41-44)



Slika 41. Izgled usjeva miskantusa u fenofazi 7-9 listova bez prethodne kontrole korova

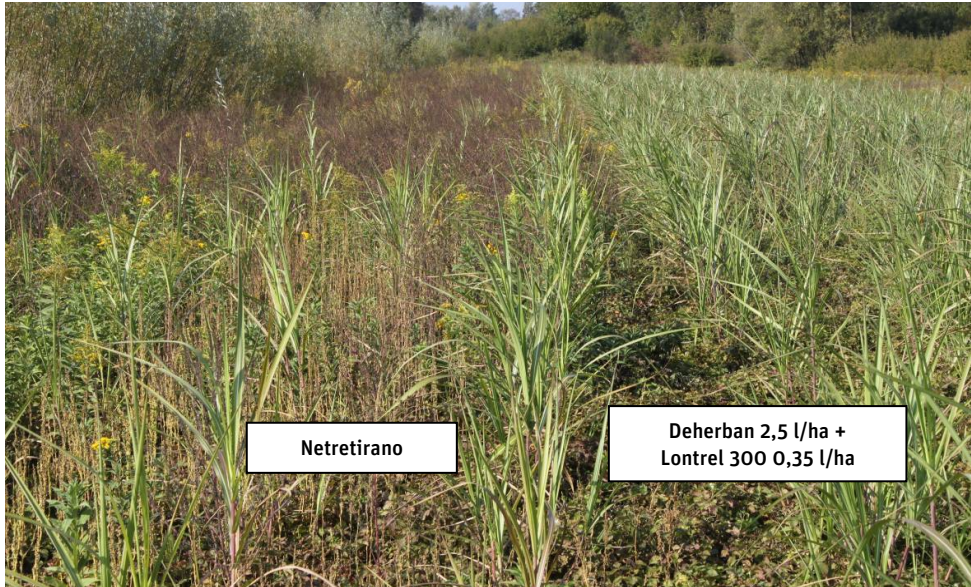


Slika 42. Tretiranje usjeva herbicidima



Slika 43. Usjev miskantusa osam dana nakon tretiranja herbicidima

Uzgoj i korištenje miskantusa (*Miscanthus* sp.)



Slika 44. Usjev miskantusa tri i pol mjeseca poslije tretiranja herbicidima

Bolesti

Bolesti koje predstavljaju rizik u proizvodnji miskantusa nisu zabilježene. Ako se slučajno i pojave, uglavnom su to bolesti poznate i kod travnih vrsta (npr. *Fusarium*). U Velikoj Britaniji uočena je pojava virusa žute patuljivosti ječma (BYDV) (Christian i sur., 1994., Huggett, 1996.). Utvrđeni su i napadi jedne vrste virusa - miskantusova linijskog virusa (Rutherford i Heath, 1992.). Neke bolesti identificirane su i drugdje, no u Europi nisu zabilježene, vjerojatno zbog činjenice da su europski klimatski uvjeti nepovoljni za njihov razvoj. U Japanu je uočen niz virusa, ali nije identificiran kukac vektor (Yamashita i sur., 1985.). Gljivica koja napada lišće miskantusa identificirana je u SAD-u kod komercijalne sadnje u hortikulturne svrhe i prouzročila je odumiranje biljaka u fazi sadnica. Za bolest je predloženo ime „palež miskantusa“ (O'Neill i Farr, 1996.). Sadašnja je situacija takva da postoji nekoliko bolesti, ali se dugoročni rizik može procijeniti tek praćenjem velikih nasada.

Mnoge štetočinke kukuruza, sirka i riže također mogu biti opasne i za *Miscanthus* u njegovu prirodnom okruženju. Najštetniji su kukci za *M. sacchariflorus* u Kini stabljični moljci koji buše stabljiku (*Chilo spp.*, *Sesamia sp.* i dr.). Korištenje pesticida nije riješilo te probleme ali ih je ublažilo, a razlog je popratno ubijanje prirodnih neprijatelja moljaca. Biološka se kontrola osobito preporučuje za kontrolu stabljičnog moljca u prirodnim uvjetima (El Bassam, 2010.).

Produktivnost miskantusa

Istraživanja produktivnosti miskantusa u Europi počela su u osamdesetim godinama prošlog stoljeća u Danskoj i Njemačkoj (Clifton-Brown i sur., 2001a). U 1993. godini počeo je projekt *European Miscanthus Network* (EMN) koji je uključivao poljske pokuse diljem Europe. Ciljevi EMN-a bili su utvrđivanje održivih prinosa *M. x giganteus*, kao kulture za sustave niskih ulaganja u poljoprivredi diljem Europe. Općenito, prinos miskantusa drastično raste u drugoj godini u odnosu na godinu sadnje, dok u kasnijim godinama prinos raste postupno. U Grčkoj i na Siciliji, uz navodnjavanje je postignut najveći prinos, viši od 26 t ha⁻¹ u drugoj godini. U Velikoj Britaniji najveći prinos od oko 15 t ha⁻¹ zabilježen je u drugoj i trećoj godini (bez navodnjavanja). U Portugalu (Lisabonu) i središnjoj Italiji (uz ograničeno navodnjavanje) najveći prinos od 24 odnosno 18 t ha⁻¹ dobiven je poslije treće godine. U južnoj Njemačkoj i Irskoj najveći prinos dobiven je nakon pet uzgojnih godina i iznosio je 22 i 14 t ha⁻¹, respektivno.

Jasno je da se najveći prinos miskantusa puno brže postiže u toplijim klimatima i da je puno veći nego u hladnijim područjima, osobito kod dovoljne opskrbe usjeva vodom (Clifton-Brown i sur., 2001a). U Portugalu je hibrid *M. sinensis* dao prinos od 40,9 t ha⁻¹ ST poslije treće uzgojne godine (Clifton-Brown i sur., 2001b). Prinosi do 40 t ha⁻¹ zrakosuhe tvari (ekvivalent 28-36 t ha⁻¹ ST) i viši dobiveni su u Kini s *M. sacchariflorus* u njegovu prirodnom nizinskom staništu (El Bassam, 2010.). Istraživanja diljem Europe pokazuju da zimski prinos *M. x giganteus*, od treće godine rasta nadalje, varira od 7 do 26 t/ha. Najveći prinos bez navodnjavanja dosegnuo je 15-19 t ha⁻¹ ST. Puni prinos može se postići i nakon druge godine, ali na nekim lokacijama (sjeverna Europa) treba proći i pet godina. Slabo prezimljavanje novoposađenog nasada *Miscanthus x giganteus* iz prijesadnica dobivenih mikropropagacijom primijećeno je u mnogim zemljama sjeverne Europe. Pouzdanije tehnike zasnivanja usjeva *M. x giganteus* ili novi genotipovi s boljim kapacitetima prezimljavanja bit će potrebni u budućnosti (Clifton-Brown i sur., 2001a).

U Njemačkoj je početkom 90-ih godina na više lokacija s različitim tlima utvrđivana produktivnost vrste *M. x giganteus* (Schwarz i sur. 1995.). Prinos je mjereno u razdoblju studeni/prosinac u cilju utvrđivanja maksimalnoga biološkog prinosa

poslije translokacije asimilata u rizome, a prije brojnijeg opadanja listova. Prinos je na svim lokacijama rastao tijekom prvih nekoliko godina dok se nije ustabilio na razinu 18-20 t ha⁻¹ suhe tvari. Broj izboja po biljci i visina biljke pokazivali su isti trend. Prinos je uvelike ovisio o tipu tla, dostupnosti vode i klimatskim uvjetima, dok gustoća sadnje i razina dušika u tlu nije u većoj mjeri utjecala na prinos (Clifton-Brown i sur., 2001a).

U Austriji je utvrđivana produktivnost *M. x giganteus* na različitim tipovima tala i u različitim klimatima (Schwartz, 1993.; 1994. i Schwartz i sur., 1994.). Žetva je obavljena u studenome/prosincu i veljači, a prinos suhe tvari stabilizirao se na 20 t ha⁻¹ poslije treće vegetacijske sezone. Međutim, utvrđena je široka varijabilnost prinosa između lokacija, najviše zbog količine oborina. Procijenjeno je da je količina oborina od 700 mm potrebna za dobivanje viših prinosa.

Iz rezultata uzgoja miskantusa na različitim lokacijama u RH može se zaključiti da je prinos u godini sadnje ekonomski neisplativ i obično se ne žanje. U drugoj su godini najveći prinosi ST oko 20 t ha⁻¹, a u trećoj godini oko 30 t ha⁻¹, i to sa znatnim razlikama između lokacija (Leto i Bilandžija, 2013., Leto i sur., 2014., 2015.).

Sadržaj vlage u žetvi miskantusa varira od 25 do 40% u područjima južne Europe, do 30 i do 60% u sjevernijim područjima. Niži sadržaj vlage u europskim južnijim područjima omogućava jesensku žetvu. Međutim, potrebna su daljnja istraživanja definiranja vremena jesenje žetve s ciljem postizanja maksimalnih prinosa ST bez štetnih utjecaja na sposobnost preživljavanja i vigor budućeg porasta. S obzirom na mogućnost žetve u različitim rokovima (tijekom razdoblja mirovanja vegetacije) Bilandžija (2015.) na temelju triju godina istraživanja zaključuje da se udio vlage u biomasi u jesenskom roku žetve kreće od 53,8 do 55,5%, u zimskom roku žetve od 20,7 do 42,3%, a u proljetnom roku žetve od 11 do 24,5%. Međutim, udio vlage tijekom pojedinih rokova žetve prvenstveno ovisi u klimatsko- meteorološkim prilikama uzgojne lokacije.

Dostupnost vode tijekom vegetacijske sezone glavni je ograničavajući čimbenik rasta u zemljama južne Europe i važan čimbenik u determiniranju prinosa u zemljama sjeverne Europe s malom količinom oborina. Razina smanjivanja prinosa tijekom razdoblja nedostatka vode ovisi ne samo o klimatu nego i o tipu tla (Jones i Walsh, 2001.).

Uzgoj i korištenje miskantusa (*Miscanthus* sp.)

Sukladno svemu navedenom može se zaključiti da:

- U sjevernoj Europi najveći prinosi dosežu 15-25 t/ha ST na kraju vegetacijske sezone. Veća produktivnost bilježi se u središnjoj i južnoj Europi s prinosima 25-40 t/ha ST, ali uz preporuku navodnjavanja.
- Sadržaj vlage u jesenskoj žetvi miskantusa veći je u odnosu na proljetnu žetvu, te je proljetni prinos 30-50% niži od jesenskog. Optimalno vrijeme žetve varira o klimatskim prilikama svake lokacije i namjeni biomase miskantusa.
- Veća gustoća sadnje povećava brzinu dobivanja punog prinosa. U sjevernim regijama to traje duže jer je sezona rasta hladnija (obično 3-5 godina), dok se u južnim krajevima puni prinos dobije za 2-3 godine.

Utjecaj na okoliš

Odnosi okoliša i energetske usjeva raznoliki su i složeni. Općenito se smatra kako je utjecaj usjeva za biomasu više koristan nego štetan za okoliš. Međutim, to nije uvijek slučaj pa se moraju poštivati specifične upute o postizanju ravnoteže usjeva i okoliša (Gosse, 1995., Mitchell, 1995.).

Zamjena/čuvanje izvora fosilne energije i smanjivanje emisije ugljika i stakleničkih plinova

Usjevi za dobivanje biomase smanjuju emisiju ugljika na dva načina: zamjenom fosilnih goriva i sekvencijom ugljika u tlo (Clifton-Brown i sur., 2007.). Bruto izračun pokazuje da se korištenjem 1 t biomase može izbjeći ispuštanje 0,5 t ugljika izgaranjem fosilnih goriva. Uzgojem miskantusa na 10% prikladnih tala u EU (EU15) može biti proizvedeno 231 TWh/god. električne energije, što je 9% ukupne proizvodnje u 2000. godini. Ukupno smanjenje emisije ugljika može biti 76 Mt C/god., što je oko 9% ukupne EU-emisije C iz Kyoto protokola 1990. (Clifton-Brown i sur., 2004.). Usjev miskantusa ostavlja znatne količine organske tvari u tlu. Utvrđeno je da potencijalan doprinos organskoj masi tla iznosi 3,1 t ha⁻¹ god.⁻¹ ugljika akumuliranog kao odumrla biljna masa na tlu i 9,1 t ha⁻¹ ugljika dugoročno akumuliranog rizomima i korijenom (Beuch i sur., 2000.).

Razvijeni usjev miskantusa može proizvesti oko 8,2 t ha⁻¹ organske tvari, što je usporedivo s krutim stajskim gnojem ako se gleda utjecaj na organsku tvar tla. U tom smislu miskantus ima višu vrijednost od uobičajenih poljoprivrednih usjeva. Nakon 6-8 godina uzgoja vrste *M. x giganteus* utvrđeno je povećanje organske tvari tla od oko 0,5% u pjeskovitim tlima i 0,2% u muljevitim tlima (Beuch i sur., 2000.).

Miskantusom vezani organski ugljik tla detektiran ¹³C signalom iznosi 8,9±2,4 t C/ha kroz 15 godina. Procjenjuje se da je ukupno smanjenje emisije ugljika 15-godišnjim

Uzgoj i korištenje miskantusa (*Miscanthus* sp.)

uzgojem ovog usjeva od 5,2 do 7,2 t C ha⁻¹ god.⁻¹, ovisno o vremenu žetve (Clifton-Brown i sur., 2007.).

Korištenje miskantusa za proizvodnju energije omogućava čuvanje primarnih izvora energije kao što su nafta i ugljen. Na energetskej razini, 20 t miskantusa ekvivalentno je 12 t mrkog ugljena (Lewandowski i sur., 1995.), dok je 30 t miskantusa ekvivalentno 12.000 litara nafte (El Bassam, 1996.).

Efekt staklenika uglavnom je povezan s izgaranjem fosilnih goriva. Jedan je od načina smanjivanja emisije stakleničkih plinova i korištenje CO₂ neutralnih goriva za proizvodnju energije (npr. iz biomase). Biomasa kao što je miskantus smatra se CO₂ neutralnom jer rezultati njegova sagorijevanja ne utječu na povećanje atmosferskog ugljikova dioksida (zbog usvajanja CO₂ tijekom fotosinteze).

Količina potrošene energije u proizvodnji miskantusa čini samo 5-6% energije dobivene njegovim izgaranjem, a transport i žetva energetski su najzahtjevnije faze u proizvodnom procesu (Hartmann, 1995., Jørgensen i Jørgensen, 1996., Lewandowski i sur., 1995.). Tim visokim energetskeim balansom miskantus dolazi u prednost pred ostalim energetskeim usjevima (Kaltschmitt i sur., 1996.).

Količina emitiranih stakleničkih plinova najviše ovisi o metodama korištenim za proizvodnju biomase, vrsti fosilnoga goriva te korištenim tehnologijama. Zamjena fosilnih goriva miskantusom u proizvodnji energije rezultira znatnim smanjenjem emisije stakleničkih plinova. Međutim, to je smanjenje ipak reducirano proizvodnjom CO₂ kroz aplikaciju mineralnog N (proizvodnja N gnojiva energetski je vrlo zahtjevna), žetvu i produkciju dušikova oksida (N₂O) (Lewandowski i sur., 1995., Jørgensen i Jørgensen, 1996.). Emisije N₂O posljedica su procesa izgaranja, a u tlo ili vodu emitiraju se denitrifikacijom. Miskantus proizvodi malu količinu N₂O u usporedbi s drugim usjevima za biomasu (1 kg N₂O ha⁻¹ god.⁻¹) (Jørgensen i Jørgensen, 1996., Kaltschmitt i sur., 1996.). Prema tome, ispuštanje N₂O ne predstavlja ozbiljnu zapreku korištenju miskantusa kao goriva s niskom emisijom CO₂, premda N₂O štetno djeluje na ozon i njegovo ispuštanje uvijek treba tretirati kao negativnu pojavu.

Ispuštanje plinova s onečišćivačima koji u spoju s vlagom zraka proizvode kisele kiše još je jedan negativan aspekt izgaranja fosilnih goriva. Ti su onečišćivači sumporni dioksid (SO₂), dušični oksidi (NO_x), vodikov klorid (HCl) i amonijak (NH₃). Potencijal zakiseljavanja nekoga goriva izražava se u SO₂ ekvivalentima.

Korištenjem miskantusa kao izvora energije, potencijal acidifikacije prvenstveno se određuje emisijom NO_x i SO₂ tijekom izgaranja biomase (Kaltschmitt i sur., 1996.). Zbog niskog sadržaja sumpora u miskantusu, u usporedbi s njegovim sadržajem u fosilnim gorivima, a djelomično i zbog vezanja SO₂ na kalcijev oksid prisutan u pepelu biomase (Kicherer i sur., 1995.), ispuštanje SO₂ čini manji dio u ukupnom potencijalu zakiseljavanja biogorivima dobivenim od miskantusa u odnosu na NO_x (Hartmann, 1995.).

Utjecaj na kakvoću tla i vode

Proizvodnja biomase relativno je intenzivan proces za tlo te postoji određen rizik onečišćenja tla i podzemnih voda nitratima, fosfatima, kalijem i pesticidima. Miskantus nije previše osjetljiv na bolesti i štetnike (McCarthy i Mooney, 1995.), tako da ima niske zahtjeve za pesticidima, što smanjuje rizike od kontaminacije podzemnih voda i posljedične rizike za organizme tla i vode.

Rezultati istraživanja ističu nisku razinu ispiranja nitrata u usjevima miskantusa u usporedbi s ostalim usjevima, što ga čini preporučljivom kulturom u očuvanju kakvoće nadzemnih i pozemnih voda. Na razinu ispiranja nitrata utječu razina gnojidbe i starost nasada, zajedno s drugim čimbenicima kao što su klima i vrsta tla. Istraživanja su pokazala kako je koncentracija nitrata uglavnom ispod granice Europske unije za pitku vodu, osim u usjevima gnojnim sa 185 kg N/ha ili više (Jørgensen i Mortensen, 1997.).

Više ispiranja zabilježeno je u godini sadnje, vjerojatno jer korijenov sustav još nije u potpunosti razvijen, a ograničena je produkcija biomase. Što je usjev stariji ispiru se sve manje količine nitrata. U istraživanju Christiana i sur. (1997b) utvrđeno je da su gubici nitrata kod usjeva miskantusa slični gubicima kod negnojnih trava, što ne izaziva kontaminaciju podzemnih voda nitratima.

Usjev miskantusa, jednom zasnovan, može sniziti razinu ispiranja nitrata i povećati kakvoću podzemnih voda u usporedbi s oraničnim usjevima (Christian i Riche, 1998.). Također, utvrđeni su pozitivni rezultati u efikasnosti pročišćavanja voda hidroponskim uzgojem trava na prirodnoj vodi, uključujući i *M. sinensis* (Hirose i sur., 2003.). Miskantus pokazuje dobar potencijal kao alternativan usjev za sustave niskih ulaganja u poljoprivredi. U usporedbi s jednogodišnjim biljkama, zahtjevi za gnojdbom su niski (Schwarz i Liebhard, 1995.). Razlog za to je translokacija hraniva iz nadzemnih dijelova biljke u podzemne tijekom jeseni, a te pričuvne tvari ponovno se koriste za porast nadzemne mase u proljeće (Jodl i sur., 1996.).

Miskantus može biti potencijalno vrijedan usjev za tla onečišćena teškim metalima, jer ne pokazuje povišeno usvajanje teških metala kao što je primijećeno kod nekih trava uzgajanih na jalovinama (bogatim metalima) iz rudnika (Wilkins i Redstone, 1996.).

Utjecaj na bioraznolikost

Čini se da je utjecaj energetskih usjeva korisniji na divljač i bioraznolikost faune u usporedbi s ratarskim usjevima. Povećanje brojnosti kukaca u usjevima povećava i broj ptica (slika 45) koje se njima hrane. Napravljena je komparativna studija faune u usjevima miskantusa i raži i utvrđen je veći broj kukaca u raži, ali je u miskantusu bila veća raznolikost vrsta kukaca. Populacija pauka bila je triput veća u miskantusu nego u raži, a i raznolikost vrsta također. U tlima na kojima se uzgaja miskantus primijećena je i velika brojnost jedinki i vrsta gujavica (Christian i sur., 1997a). Usjevi miskantusa pružaju idealna mjesta za sklanjanje mnogih sisavaca i ptica (srneće divljači, zečeva, prepelica, jarebica, fazana). Zaključno, utvrđeno je da je ekološka vrijednost uzgoja *Miscanthus* vrsta viša nego uzgoja kukuruza (Eppel-Hotz i Jodl, 1997.).



Slika 45. Gnijezdo fazana u usjevu miskantusa

Rasprostranjenost uzgoja energetskih usjeva može utjecati na krajobraz. Uzgoj miskantusa može izazvati neke negativne utjecaje na krajobraz, i to zbog nepostojanja šire varijacije u strukturi i boji, međutim, ublažavajući pozitivan utjecaj može biti njihanje visokog usjeva miskantusa za vjetrovitog vremena, osobito kad su na biljkama izrasle metlice (slika 46).



Slika 46. *Miscanthus x giganteus* u cvatnji

U konačnici, miskantus je ekološki prihvatljiviji usjev od drugih u pogledu erozije tla, biološke raznolikosti, učinkovitosti korištenja resursa i ispiranja hraniva. Osim toga, zamjena fosilnih goriva miskantusom može dovesti do smanjenja emisije stakleničkih plinova i kiselih kiša. Vrijedno je napomenuti da se prednosti za okoliš očituju samo kod pažljivog upravljanja i poštivanja smjernica tijekom proizvodnje i pretvorbe.

Žetva

Miskantus se može koristiti kao sirovina za proizvodnju energije, građevnog materijala, papira, prostirki za domaće životinje itd. Svaka od ovih namjena zahtijeva sirovinu određenog sadržaja suhe tvari, oblika, veličine čestica itd. Načini žetve, transporta i skladištenja ovise o načinu korištenja požnjevene biomase miskantusa koja, kao sirovina, mora biti dostupna tijekom cijele godine. Požnjevena biomasa mora biti skladištena uz minimalne gubitke količine i kakvoće. To znači da mora biti konzervirana ili sušenjem ili siliranjem.

Datum žetve

Žetva miskantusa obavlja se jednom godišnje, i to košnjom cjelokupne nadzemne mase. Rokovi žetve miskantusa u razdoblju su od nastupa prvih mrazova u jesen (studeni), koji znače kraj vegetacije miskantusa, do pojave novih izboja u proljeće (najčešće početak travnja do sredine travnja), ovisno o lokaciji. U principu, žetva se može obavljati kad odumre nadzemna masa, ili kad je sadržaj vlage u biomasi najmanji, ili prije kretanja novog porasta nadzemne mase. Važno je da nadzemna masa odumre tako da proces translokacije hraniva iz nadzemne mase u rizome završi, a to biljci osigurava dovoljno pričuvnih hraniva za prezimljavanje i novi porast vegetacije u proljeće.

U trenutku najvećeg prinosa biomase (u jesen) miskantus je zelen, s visokim postotkom vlage (55->60%) pa se obvezno mora sušiti kako bi se biomasa mogla ispravno skladištiti. Odbađanjem žetve za iduće proljeće poboljšava se kakvoća biomase za sagorijevanje, smanjenjem sadržaja vlage i neželjenih komponenata u biomasi, ali dolazi i do znatnih gubitaka u prinosu suhe tvari, prije svega zbog opadanja lišća i metlica. Ti se gubici kreću od 30 do 50%.

Biomasu miskantusa nakon žetve treba konzervirati za cjelogodišnje korištenje sušenjem ili siliranjem. Sušenje u polju u jesenskom dijelu godine praktički je nemoguće pa biomasu miskantusa treba osušiti u sušionicima. No, takav postupak znatno povećava cijenu proizvodnje biomase. U srednjoj Europi (pa tako i u nas) najbolje je vrijeme žetve miskantusa rano proljeće, zbog prirodnog sušenja nasada u polju, čime se dobije najbolja kvaliteta biomase za izgaranje, ali i biomasa za dugo skladištenje. Vлага se tijekom tog sušenja smanji s početnih 55-60% na manje od 20%, pa čak manje i od 15% u pojedinim godinama.

Važno je napomenuti da su agroekološki čimbenici uzgojne mikrolokacije glavni kriteriji za određivanje optimalnog roka žetve, prije svega udio vlage u biomasi i trenutno stanje tla. Kako bi se izbjegnulo veće narušavanje strukture tla, uzrokovano prohodima mehanizacije, žetvi treba pristupiti kad je tlo suho ili zamrznuto.

Žetvene tehnike

Žetva miskantusa može se obaviti postojećom mehanizacijom za spremanje voluminozne krme ili slame. Međutim, treba uzeti u obzir veću visinu usjeva, deblje i čvršće stabljike te veći godišnji prinos miskantusa, čime dolazi do većeg habanja mehanizacije. Navedene karakteristike miskantusa zahtijevaju korištenje robusnijih strojeva za žetvu koji su u stanju požeti nasad miskantusa.

Stabljike miskantusa nakon košnje treba skupiti u zbojeve radi lakšeg baliranja, ako sama kosilica ne stvara dovoljno kompaktan zboj. Ako prikupljanje zbojeva nije uključeno u proces žetve, mala gustoća zboja i velike dužine stabljika miskantusa mogu prouzročiti smetnje i zastoje u procesu baliranja. Prešanje miskantusa moguće je korištenjem različitih tipova preša (balirki) koje proizvode kockaste, prizmatične ili valjkaste bale. Već su razvijene nove preše (balirke) koje uspješno baliraju veliku masu čvrstih stabljika miskantusa. Velike četvrtaste i okrugle preše u mogućnosti su proizvesti bale s gustoćom (zbijenošću) 100-325 kg/m³ i masom 250-500 kg, što varira ovisno o karakteristikama samih preša. Ovisno o proizvođaču i tipu preša, dimenzije su proizvedenih velikih četvrtastih bala 0,8-1,2 m x 0,7-1 m x 2-3 m (širina x visina x dužina), dok one za velike valjkaste bale iznose 0,9-1,8 m x 1,20-2,00 (promjer x dužina). Međutim, radni kapacitet preša bit će niži nego kod baliranja sijena/slame, zbog znatnih razlika između morfoloških svojstava biljaka. S ciljem optimizacije transportno-manipulativnih zahvata, naglasak je u prešanju miskantusa proizvodnja velikih četvrtastih bala.

Uzgoj i korištenje miskantusa (*Miscanthus* sp.)

Osnovna podjela žetve temelji se na dvjema tehnikama izvođenja:

- višefaznoj i
- jednofaznoj.

Višefazne tehnike žetve obuhvaćaju košnju, formiranje zbojeva (po potrebi) te prešanje (u bale) ili usitnjavanje (sječka). Žetva se može obaviti na nekoliko načina prikazanih u modelima A i B.

Model A (višefazna tehnika - tri prohoda):

1. prohod: **košnja** (traktor s oscilirajućom kosilicom, kosilicom s rotoudaračima, rotacijskom kosilicom s bubnjevima, rotacijskom kosilicom s tanjurima (slika 47))
2. prohod: **skupljanje** biomase u zbojeve (slika 48)
3. prohod: **prešanje** (slika 49).



Slika 47. Košnja miskantusa

(www.wnif.co.uk/2014/09/kuhn-front-mounted-shredder-for-biomass-harvesting)



Slika 48. Skupljanje u zbojeve
(<https://www.youtube.com/watch?v=dOcqOFXKZys>)



Slika 49. Prešanje miskantusa (<https://illinois.edu/blog/view/6367/205160>)

Uzgoj i korištenje miskantusa (*Miscanthus* sp.)

Model B (višefazna tehnika - dva prohoda):

1. prohod: košnja samokretnim krmnim kombajnom (slika 50) (košnju je moguće provesti i kosilicama navedenim pod modelom A)
U navedenom slučaju kombajn treba prilagoditi tako da pokošene i usitnjene stabljike (35-40 cm) ne prolaze kroz bubanj, odnosno ispuhujuću cijev kombajna.
2. prohod: prešanje (slika 51)



Slika 50. Samokretni kombajn opremljen hederom s rotirajućim nazubljenim valjcima (<http://www.farmanddairy.com/top-stories/tour-gives-look-at-miscanthus-potential/322446.html>)



Slika 51. Prešanje četvrtastih bala (<https://illinois.edu/blog/view/6367/205160>)

Jednofazne tehnike obuhvaćaju samo jedan prohod (jedan ili dva agregata) mehanizacije u kojem se kombiniraju košnja i prešanje ili košnja i usitnjavanje biomase. Žetva se može obaviti na nekoliko načina prikazanih u modelima C, D i E.

Model C (jedan prohod)

- Model C1: **košnja** (samokretni krmni kombajn) i **usitnjavanje u sječku**. Prilagodba krmnog kombajna nije potrebna ako se miskantus žanje za sječku (čips). U tom se slučaju sječka izravno upuhuje u prikolicu koje se paralelno voze uz krmne kombajne ili su vučene samim kombajnom.



Slika 52. Samokretni kombajn i usipanje sječke u prikolicu (jednofazna žetva s dvama agregatima) (<http://consulting-service-pflanzen.de/en/provision-plant-based/>)

Uzgoj i korištenje miskantusa (*Miscanthus* sp.)

- Model C2: košnja (traktor s prednjim kosilicama s rotoudaračima, prednjim rotacijskim kosilicama s bubnjevima, prednjim rotacijskim kosilicama s tanjurima) + prešanje (slika 53).



Slika 53. Kombinirani agregat s uređajem za košnju i baliranje (jednofazna žetva jednim agregatom) (www.biowatt.hu)

Model D (jedan prohod):

- samokretni krmni kombajn s prešom (slika 54).



Slika 54. Samokretni krmni kombajn s prešom (www.biowatt.hu)

Model E (jedan prohod)

- traktorski krmni kombajn + traktor + preša (slika 55).



Slika 55. Traktorski silokombajn i preša (www.topagrar.com)

Sušenje i skladištenje miskantusa za energetske korištenje

Dok miskantus raste sezonski, proizvodnja biogoriva iz njegove biomase odvija se kontinuirano, kroz cijelu godinu. Dakle, potrebno je osigurati sirovinu za nesmetanu proizvodnju biogoriva, a sušenje i siliranje biomase glavni su postupci u konzerviranju biomase za daljnje korištenje, ovisno o vrsti biogoriva. Skladištenje biomase miskantusa postupak je odlaganja korištenja biomase na određeno vrijeme ovisno o dinamici proizvodnje. Optimalno bi bilo skladištenje u neposrednoj blizini postrojenja u kojem se koristi, kako bi se osigurali nesmetan rad i mali transportni troškovi. Gustoća biomase relativno je mala pa je način skladištenja vrlo važan u zadržavanju troškova u prihvatljivim granicama.

Nakon žetve, biomasa miskantusa za energetske korištenje može se skladištiti u usitnjenom, baliranom, briketiranom i peletiranom obliku, odnosno kao osušena ili silirana biomasa. Silirana se biomasa u najvećoj mjeri koristi za proizvodnju bioplina, dok se osušena biomasa koristi za proizvodnju krutih i tekućih biogoriva. Ako

Uzgoj i korištenje miskantusa (*Miscanthus* sp.)

vremenski uvjeti dopuštaju, miskantus se najčešće ostavlja u polju tijekom cijele zime kako bi se što više smanjio udio vode i samim time smanjili troškovi sušenja. U tom se slučaju žetva ne provodi dok sadržaj vlage u biomasi ne padne na manje od 20%. Međutim, za dugotrajno suho skladištenje sadržaj vlage u biomasi treba biti minimalno 15-16%. Kod viših sadržaja vlage moguć je razvoj plijesni, mada se prirodnim prozračivanjem (ventilacijom) može spriječiti njezina pojava sve do sadržaja vlage u biomasi od 25%. Uz prethodno spomenuto sušenje miskantusa na polju (najrentabilniji način, unatoč nedostacima vezanim uz određeni gubitak prinosa), postoje različite mogućnosti sušenja biomase, i to sušenje u skladištu (kod visokog sadržaja vlage grijani zrak treba prilagoditi da se izbjegnu gljivične infekcije) i sušenje u industrijskim pogonima (rotirajući, pneumatski, parni bubnjevi) (Jones i Walsh, 2001.).

Sušenje na otvorenom najjednostavniji je način sušenja biomase miskantusa, jer se zelena biomasa može učinkovito osušiti tako da se nepokošena ostavi u polju do idućeg proljeća, pri čemu se udio vlage može smanjiti s oko 50 na manje od 20%. Glavne su mane takva sušenja na otvorenom nepredvidive vremenske prilike i gubici suhe tvari, ali i vrlo visoka vjerojatnost pojave gljivičnih i bakterijskih bolesti u biomasi miskantusa.

Sušenje u skladištu odvija se prirodnom ili prisilnom ventilacijom i može biti učinkovito i ekonomično ako je na raspolaganju jeftin izvor energije. Primjer je takva izvora sunčeva energija, gdje se preko solarnih kolektora dobiva energija za sušenje biomase.

Sušenje u industrijskim pogonima upotrebljava se uglavnom za obradu sječke miskantusa pri proizvodnji krutih (peleta ili briketa) i tekućih biogoriva. Može se izvoditi u sušarama različitih izvedbi. Jedan od takvih načina tračne sušare koje rade pri nižim temperaturama, od 90 do 110°C, a na taj se način izbjegavaju problemi neugodnih mirisa i emisija organskih čestica iz biomase. Zrak za sušenje u takvim postrojenjima zagrijava se termičkim uljem, toplom vodom ili otpadnom toplinom iz dimnih plinova. Sušare s bubnjem rade pri temperaturama do 600°C pa tijekom sušenja dolazi do ispuštanja organskih čestica, te zbog toga moraju imati sustav za pročišćavanje dimnih plinova. Pri takvu načinu sušenja leteći pepeo ostaje u osušenoj biomasi, čime se povećava sadržaj pepela u peletima i stvara dodatno onečišćenje. Kod rotacijskih sušara nema izravnog kontakta između pare za sušenje i biomase, što omogućava lagano sušenje pri temperaturi od 90°C bez neugodnih mirisa i emisija organskih čestica. Kao medij za sušenje koriste se para, topla voda ili termičko ulje pa nema izravnog kontakta između medija za sušenje i otpadne prašine ili piljevine (Smeets i sur., 2009.; Jones i Walsh, 2001.). Moguće su i izvedbe koje biomasu koriste kao energent za proizvodnju topline, čime se dodatno pojeftinjuje sam postupak sušenja uz neospornu energetska neovisnost u takvim sustavima proizvodnje energije.

Tip skladištenja ovisi o oblicima požete biomase i raspoloživosti skladišnog kapaciteta. Usitnjena i balirana biomasa miskantusa može biti skladištena na nekoliko načina, i to:

- na otvorenom prostoru prekrivena plastičnim prekrivačima ili ceradama
- u postojećim ili novosagrađenim skladišnim prostorima.

Nepokrivene bale u polju upijaju vlagu, što dovodi do smanjenja kakvoće biomase, dok pokrivene bale na otvorenom i bale u skladišnim prostorima gube vlagu i time dobivaju na kakvoći, a produljuje se i vijek njihova skladištenja. Ogrjevna vrijednost biomase ovisi o vlazi, a mijenja se njezinom promjenom. Što je udio vlage viši, ogrjevna vrijednost je manja i obrnuto. Prosječna donja ogrjevna vrijednost bala skladištenih na otvorenom i nepokrivenih iznosi $9,34 \text{ MJ kg}^{-1}$, u usporedbi s donjom ogrjevnom vrijednošću pokrivenih bala od $15,33 \text{ MJ kg}^{-1}$ (Nolan i sur., 2009.). Sušenje biomase ne provodi se samo radi smanjenja vlage i povećanja ogrjevne vrijednosti, nego i zbog povećanja učinkovitosti izgaranja koja je također povezana sa smanjenjem udjela vlage. Zbog toga sadržaj vlage pri izgaranju uvijek treba biti isti, a ako odstupa potrebna su složenija i skuplja ložišta. Drugi je razlog dugotrajno skladištenje biomase miskantusa s većim sadržajem vlage, pri čemu dolazi do gubitka suhe tvari i ubrzanog stvaranja gljivica zbog biološkog raspadanja. Prilikom dugotrajnog skladištenja biomase poželjan je udio vlage u biomasi namijenjenoj za korištenje u sustavima grijanja kućanstava oko 15%, a kod primjene u industrijskim postrojenjima do 30%. Sušenje biomase nije jeftin postupak, ali znatno utječe na njezinu kvalitetu i cijenu pa bi proces trebao biti što jednostavniji.

Razvoj plijesni i pojava samozagrijavanja balirane ili usitnjene biomase, uzrokovani višim sadržajem vlage, mogu se spriječiti korištenjem prirodne ventilacije ako je sadržaj vlage u biomasi do 25%. Velike hrpe usitnjena materijala mogu biti ostavljene nepokrivene, ali se pritom svjesno prihvaća gubitak biomase uzrokovan truljenjem u vanjskim slojevima koji mogu apsorbirati vlagu u 5-50 cm dubine (Smeets i sur., 2009.; Jones i Walsh, 2001.).

Najrentabilnija je i najčešće korištena opcija skladištenje na otvorenom s plastičnim folijama. Ta se metoda također često primjenjuje i za skladištenje silaže.

Kod velikih energetske postrojenja skladištenje biomase može biti dugotrajno ili na dnevnoj bazi (služi za opskrbu gorivom točno određenog dana). Kako je prethodno već i navedeno, skladištenje na hrpi najjednostavniji je način dugotrajnog skladištenja, a za manipulaciju biomasom najčešće se koriste utovarivači. Prilikom takva skladištenja biomase najveći utjecaj i opasnosti ima biološka i biokemijska degradacija, a u nekim slučajevima i oksidacija, koja dovodi do stvaranja topline u gomili što može dovesti do samozapaljenja, gubitka suhe tvari, promjene u udjelu vlage i opasnosti za zdravlje zbog pojave gljivica i bakterija. Kratkotrajno skladištenje biomase služi za njezinu pohranu prije dovođenja u postrojenje, a prostori za

Uzgoj i korištenje miskantusa (*Miscanthus* sp.)

kratkotrajno skladištenje direktno su povezani s postrojenjem. Rasuta biomasa poput sječke najčešće se skladišti u jednostavnim horizontalnim skladištima.

Silaža

Biomasa miskantusa može se skladištiti i u anaerobnim uvjetima, i to siliranjem. Količina šećera u biomasi miskantusa dovoljna je za sintezu dovoljnih količina mliječne kiseline koja konzervira biomasu (Huisman i Kortleve, 1994.). Postupak siliranja biomase miskantusa sličan je siliranju cijele biljke kukuruza. pH-vrijednost potrebna za čuvanje silaže miskantusa u silosu ovisi o vlažnosti pohranjenog materijala. Za siliranje biomase sa sadržajem vlage od 80% potreban je pH-silaže od 4,2, dok je pH-5,2 dovoljan za konzerviranje biomase sa sadržajem vlage od 50% (El Bassam i Huisman, 2001.). Općenito, što je niži sadržaj vlage u biomasi koju siliramo potrebno je postići veći pH za stabilnu silažu.

Silirani miskantus može se koristiti kao sirovina tijekom anaerobne fermentacije u proizvodnji bioplina. Silaža miskantusa daje upola manje plina u odnosu na kukuruznu silažu, a razlog je veći sadržaj škroba i manji sadržaj celuloze u kukuruzu (glavne determinante potencijala biometana). Potreban je minimalan prinos od 25,5 t ST/ha miskantusa da se dosegne količina plina koju daje kukuruzna silaža prinosa 10–14 t ST/ha (Whittaker i sur., 2016.). Najviša produkcija bioplina postiže se korištenjem biomase miskantusa požnjevene u srpnju i kolovozu (Kiesal i Lewanowski, 2014.). Međutim, utvrđeno je da ljetni rokovi žetve negativno utječu na prinos biomase miskantusa u idućim godinama (Fritz i Formowitz, 2010.), s obzirom na to da miskantus potkraj vegetacije hranjive tvari i minerale skladišti/pohranjuje u svoje podzemne organe. Stoga se nameće zaključak da je za proizvodnju bioplina žetvu miskantusa poželjno obaviti u jesen, nakon pojave prvoga jačeg mraza.

Važan je uvjet za siliranje što prije postići anaerobne uvjete (zbijanjem mase), jer ulaskom kisika u biomasu koju siliramo počinje aerobna aktivnost mikroorganizama, povećava se temperatura i dolazi do kvarenja.

Miskantus se najčešće silira u horizontalnim silosima. Nadzemna biljna masa žanje se u jesen, nakon odumiranja, i to silokombajnima i u obliku sječke dovozi u silos. Sjeckana biomasa nužna je radi lakšeg zbijanja u silosu i lakšeg oslobađanja staničnog sadržaja kao preduvjeta intenzivnijeg rasta i razvoja bakterija mliječno-kiselinskog vrenja. Dužina sjeckanja biljne mase za horizontalne je silose najčešće 2–4 cm. Nakon dovoza biljne mase u silos ona se po cijelom silosu raspoređuje u tanje slojeve i zbija traktorskim kotačima. Zbijenost biljne mase u silosu veća je ako se biomasa zbija

Žetva

dulje, te ako se zbijaju tanji slojevi (20-30 cm). Silos nakon punjenja treba što prije zatvoriti, najkasnije unutar 12-24 sata. Ako se silos ne zatvori, nastavlja se disanje biljne mase i njezino zagrijavanje, čime se povećavaju gubici hraniva i površinsko kvarenje biljnog materijala. Za zatvaranje silosa najčešće se koriste za zrak nepropusne polietilenske folije.



Slika 56 Siliranje miskantusa (http://cyberspaceandtime.com/Ensilage_Miscanthus)

Energetsko korištenje miskantusa

Proizvodnja energije i papira bile su prve razmatrane namjene korištenja biomase miskantusa, ali su rađene i studije za druge namjene: za građevni materijal, za pročišćavanje kontaminiranih tala (bioremedijacija) itd.

Jedan je od najvažnijih načina korištenja biomase miskantusa kao goriva za proizvodnju energije. Ta su goriva najčešće u krutom i tekućem obliku. Svaki od ovih oblika energije zahtijeva sirovinu (biomasa miskantusa) određenih kemijskih karakteristika, požnjevenu u određenom roku žetve i konzerviranu u određenu obliku, da se može koristiti kroz cijelu godinu.

Tehnologije pretvorbe miskantusa u energiju

Kruta biogoriva

Može se reći kako je biomasa najstariji izvor energije koji je čovjek koristio i predstavlja pojam za brojne različite proizvode biljnoga i životinjskog svijeta. Biomasa je jedini obnovljivi izvor energije koji se gotovo neograničeno može koristiti za proizvodnju električne i toplinske energije, ali i tekućih goriva za pogon motora s unutarnjim izgaranjem s aspekta zaštite okoliša. Biomasa se može izravno koristiti za grijanje u industriji i kućanstvima, za dobivanje električne energije u malim elektranama, pa sve do usporedne proizvodnje električne i toplinske energije u kogeneracijskim postrojenjima (Labudović, 2002.; Manganeli, 2006.).

Energetske kulture uzgajaju se isključivo s ciljem proizvodnje biomase koja će poslužiti za proizvodnju energije. Cjelokupna nadzemna biomasa tih kultura

namijenjena je isključivo konverziji u različite oblike energije, za razliku od korištenja posliježetvenih ostataka u proizvodnji energije, gdje se jedan određeni postotak ostataka mora zaorati u cilju popravljivanja organske tvari u tlu. Uzgoj energetskih kultura još je uvijek predmet brojnih istraživanja, tako da proizvodnja energije iz takvih sirovina u Europskoj uniji još uvijek nije ostvarena u većem opsegu.

Miskantus se može izravno pretvarati u energiju jednostavnim izgaranjem, te tako dobiti toplinska energija za grijanje u industriji i kućanstvima, ili za dobivanje električne energije u postrojenjima manjeg kapaciteta.

Ako se miskantus uzgaja s ciljem izgaranja u ložištima, poželjno je da udio vlage u biomasi bude niži od 20%. Navedeni postotak moguće je ostvariti tzv. prirodnim sušenjem u polju, odnosno žetvom početkom proljeća (prije kretanja nove vegetacije). Trogodišnja istraživanja u agroekološkim uvjetima Hrvatske pokazala su da se prirodnim sušenjem u polju može postići udio vlage u biomasi miskantusa od 11 do 24,5%, ovisno o godini i datumu žetve (Bilandžija, 2015.).

Osnovne su karakteristike biomase miskantusa kao sirovine za dobivanje energije:

- kemijski sastav
- ogrjevna (energetska) vrijednost
- temperatura samozapaljenja
- temperatura izgaranja
- fizikalna svojstva koja utječu na ogrjevnost (npr. gustoća, vlažnost i dr.) (Faaji, 2006.).

Postoji velik broj različitih metoda za proizvodnju energije termičkim tretmanom biomase miskantusa. Dvije su osnovne metode izgaranja:

- izravno izgaranje
- suizgaranje.

Izravno izgaranje najvažnija je tehnologija koja se koristi za proizvodnju energije iz biomase, a ujedno je i proces općenite ekonomske i ekološke isplativosti (Erol i sur., 2010.). Izgaranje je složen fizikalno-kemijski termodinamički postupak u kojem se potencijalna kemijska energija biomase (iz njegovih gorivih elemenata) u procesu oksidacije (vezanja s kisikom) transformira u toplinsku energiju. Dakle, izravno izgaranje moglo bi se još nazvati i potpuna oksidacija biomase. Riječ je o procesu gorenja kod kojeg, pri temperaturi zapaljenja, dolazi do lančane reakcije, pri čemu sagorijevaju gorive tvari uz stalan dotok kisika sve dok sva goriva tvar ne oksidira (Van Loo i Koppejan, 2008.). Naime, kada je izgaranje biogoriva potpuno, jedini produkti izgaranja neznatne su količine ugljikova dioksida (CO₂) i voda (H₂O) koje nisu štetne po zdravlje i okoliš. Kod nepotpunog izgaranja oslobađaju se po zdravlje

Uzgoj i korištenje miskantusa (*Miscanthus* sp.)

štetne, onečišćujuće tvari i staklenički plinovi (GHG) poput ugljikova monoksida (CO), nitratnog oksida (N₂O), metana (CH₄) te policikličkih aromatskih ugljikovodika (PAHovi) (Bhattacharya i Salam, 2002.). Vruće plinove koji nastaju u procesu gorenja moguće je iskoristiti za neposredno zagrijavanje nekog prostora, grijanje vode u malim bojlerima, ali i kao izvor topline za razne industrijske procese (Van Loo i Koppejan, 2008.).

Proizvodnja energije u postrojenjima za izgaranje ugljena s kombinacijom ugljena i biomase zove se **suizgaranje**. Trenutno u svijetu postoji više od 150 postrojenja koja koriste navedenu tehnologiju, i to na pokusnoj razini. Glavna je prednost suizgaranja sagorijevanje CO₂ neutralnog energenta, čime se izravno utječe na smanjenje emisije CO₂ (Maciejewska i sur. 2006.; Fernando, 2012.).

Kod miskantusa je važno istaknuti zanemariv udio sumpora. Poznato je da se izgaranjem fosilnih goriva stvaraju sumporovi oksidi vrlo štetni za okoliš, pogotovo kada dođu u reakciju s vlagom.

Ložište je dio postrojenja u kojem izravno izgara neko gorivo. Bez obzira na podrijetlo, gorivu treba osigurati nesmetan dovod i dobro miješanje sa zrakom, ali i osigurati efikasan odvod pepela, šljake i dimnih plinova. Ložište (slika 57) mora biti konstruirano tako da gorivo u njemu što potpunije izgara, uz što manji utrošak zraka. Pravilo je da se za svaku vrstu goriva konstruira odgovarajuće ložište i neophodno je da ono bude što jednostavnije, sigurno, jeftino i da se njime što jednostavnije upravlja uz visok stupanj energetske efikasnosti (Đonlagić, 2005.).

Najčešći su oblici izgaranja biomase, pa tako i miskantusa, putem kogeneracijskih postrojenja (slika 58). Kogeneracija se definira kao kombinirana proizvodnja električne (ili mehaničke) te iskoristive toplinske energije u jedinstvenom procesu. Toplinska energija koja ostaje neiskorištena u konvencionalnoj elektrani (ili se ispušta u okoliš uz negativne učinke) u kogeneracijskim postrojenjima koristi se za razne potrebe u poljoprivredi - od zagrijavanja staklenika ili plastenika, sušenja poljoprivrednih proizvoda, pa sve do zagrijavanja obližnjih objekata ili građevina (Faaji, 2006.).



Slika 57 Suvremeno ložište prilagođeno biomasi miskantusa
(izvor: www.asgard-biomass.co.uk)



Slika 58 Kogeneracijsko postrojenje (CHP)
(izvor: www.puntex.wordpress.com)

Miscanthus x giganteus trenutno se najviše koristi za zajedničko izgaranje s krutim fosilnim gorivima (ugljen) i/ili samostalnim izravnim izgaranjem (spaljivanjem) za proizvodnju toplinske i/ili električne energije. Upotrebom različitih tehnologija zbijanja, proizvedena biomasa doraduje se u čvrsta biogoriva (brikete - slika 59, peleti - slika 60), a nakon procesa briketiranja/peletiranja može se učinkovitije koristiti za proizvodnju „zelene“ energije (Bilandžija, 2012., 2014.). Ujedno se koristi i kao dodatak šumskoj biomasi u proizvodnji peleta i briketa. Briketiranjem ili peletiranjem bolje se iskorištava čvrsto gorivo u sitnim (praškastim) oblicima, dajući im pogodniji oblik koji omogućuje jeftiniji transport i kvalitetnije korištenje.

Uzgoj i korištenje miskantusa (*Miscanthus* sp.)



Slika 59. *M x giganteus* u obliku briketa



Slika 60. *M x giganteus* u obliku peleta

Briketiranje, kao i peletiranje, sastoji se u lijepljenju sitnih zrna biomase pod tlakom u kalupima, tako da se dobiju različiti oblici briketa, odnosno peleta. Kako bi se biomasa povezala u jednu cjelinu moguće je dodavanje sredstava za vezivanje (lijepljenje) zrnaca, koja bi trebala biti prirodna (organskog) podrijetla. Grijanje na biomasu, osobito na brikete i pelete, sve više dobiva na važnosti zahvaljujući kontinuiranim promjenama cijena fosilnih energenata loživog ulja i plina, što je rezultiralo instaliranjem brojnih postrojenja za proizvodnju i korištenje tog oblika obnovljivog izvora energije.

Tehnologija briketiranja postupak je tijekom kojeg se usitnjeni materijal pod visokim tlakom pretvara u kompaktan oblik velike volumenske mase pogodne za daljnju manipulaciju i korištenje. Konačan proizvod briketiranja naziva se briket promjera 20-120 mm i maksimalne dužine 400 mm. Proces briketiranja primjenjivan je u prošlosti u rudnicima ugljena. Na klipnoj preši prešaju se i prašina te sitni otpad. Riječ "briquet" na engleskom jeziku znači cigla ili opeka. Zbog toga briket može biti i u obliku cigle (prizmatičan) ili u obliku cilindričnog valjka. Briketirke su najčešće stacionarnog tipa (postrojenje je smješteno u namjenskom objektu s lokacijom na koju je ekonomski opravdano dopreмати biomasu).

Pelet za proizvodnju energije nastaje jakim komprimiranjem ("peletiranjem") različitih izvora biomase. Za razliku od briketa, promjer energetskog peleta općenito

Energetsko korištenje miskantusa

iznosi 6-8 mm, a dužina 30-40 mm. Mogu se koristiti razni nusproizvodi piljenja, kao što su piljevina, iver ili prašina nastala brušenjem (nastaju u velikoj količini u drvoprerađivačkoj industriji), ostaci šumskog drva kod krčenja šuma, pa sve do poljoprivrednih ostataka i energetskih biljaka. Riječ "pellet" na engleskom jeziku znači loptica, kuglica ili valjak. Postupak peletiranja poznat je već 100 godina i potječe iz industrije stočne hrane. Peletiranje biomase postalo je zanimljivo tek razvojem grijanja na biomasu, odnosno pojavom potrebe pojeftinjenja ovog oblika proizvodnje energije. Peletiranjem nastaje nova vrsta biomase za proizvodnju energije, i to visoke energetske vrijednosti, dobre kvalitete izgaranja i jednostavnog rukovanja, osobito u pogledu transporta do skladišta zaliha i doziranog dovođenja do plamenika toplinskog uređaja, što omogućuje visoku kvalitetu življenja u objektima za stanovanje.

Sam postupak peletiranja odvija se u peletirki, čiji se glavni dio sastoji od pogonjene matrice (slika 61). Biomasu se pak prije samog peletiranja može ovlažiti zasićenom vodenom parom, kako bi sam postupak zgušnjavanja biomase tekao bolje uz bolju kvalitetu završnog proizvoda.



Slika 61. Matrica za formiranje peleta u peletirki
(www.termis.weebly.com)

Osnovni su načini dovođenje peleta do ložišta pomoću pužnoga ili pneumatskog transportera ili jednostavno gravitacijski. Skladište peleta treba biti što bliže ložištu zbog lakšega, jednostavnijega i jeftinijeg sustava dovođenja peleta, a samo skladište treba biti zaštićeno od vlage.

Uzgoj i korištenje miskantusa (*Miscanthus* sp.)

Europska unija je stvaranjem obveznih standarda dala temelj smislenoga, tehničkoga i ekonomičnog korištenja peleta kao goriva. Najvažnija svojstva visokokvalitetnih peleta navedena su u tablici 2. Za kvalitetu je odlučujuća komprimiranost peleta, jer ona utječe na njezino ponašanje pri izgaranju. Što su peleti više komprimirani to je veća njihova ogrjevna vrijednost, a time su bolje ponašaju pri izgaranju (visoki plamen i bolje izgaranje uz veliku proizvodnju topline). Istovremeno, preostala vlaga treba biti mala kako bi se osiguralo dobro izgaranje. Utvrđeno je da je najpovoljniji promjer peleta 6 mm za dovod i izgaranje u pećima i kotlovima za centralno grijanje.

Tablica 2. Optimalna svojstva peleta kao energenta

Svojstva drvenih peleta	
Promjer	6 mm
Dužina	30–40 mm
Komprimiranost	>1,2 kg/dm ³
Ogrjevna vrijednost (gornja)	>4,9 kWh/kg
Preostala vlaga	8–10%
Masa nasipavanja	650 kg/m ³
Abrazija	Maks. 2%

Važno je svojstvo kvalitete i vrijednost habanja, koja određuje količinu peleta koja podliježe definiranom opterećenju (vrsta opterećenja, trajanje). Što je habanje veće to je veći postotni gubitak težine peleta "raspadanjem" u prašinu, zbog mehaničkih poteškoća tijekom transporta. Dobri peleti imaju visoku komprimiranost i glatku, sjajnu površinu bez pukotina.

Za izgaranje briketa i peleta na raspolaganju se nalaze pojedinačne peći ili kotlovi, kao i kotlovi za centralno grijanje. Pojedinačni kotlovi prikladni su za zagrijavanje manjih prostorija i stanova, a u slučaju potrebe i za zagrijavanje niskoenergetskih kuća.

Prednosti upotrebe briketa i peleta od miskantusa kao energetske goriva (Oberberger i Thek, 2010.):

- pogodni su za loženje u pećima, kaminima, kotlovima za drvo i automatskim kotlovima
- jednostavna manipulacija (izgaranjem i manipulacijom briketa i peleta ne javljaju se prašina i dim, što je važan čimbenik kod održavanja higijene prostorija)

Energetsko korištenje miskantusa

- proizvodnja peleta i briketa moguća je bez anorganskih vezivnih sredstava (ljepila), što je važno jer pridonosi pojeftinjenju proizvodnje i poboljšanju njegove vrijednosti s aspekta zaštite okoliša
- sprječavaju stvaranje čađi u kotlovima
- pri izgaranju ostaje mala količina pepela (2-7 puta manja nego pri izgaranju ugljena) koji se može koristiti kao prirodno gnojivo
- proces izgaranja karakterizira zanemarivu emisiju štetnih plinova, a osobito sumporova dioksida (koji je neizbježan proizvod izgaranja fosilnih goriva)
- ogrjevna vrijednost peleta i briketa od miskantusa može iznositi do 18 MJ/kg, što odgovara ogrjevnoj vrijednosti mrkog ugljena.

Međutim, uz mnoge prednosti peleti i briketi od biomase miskantusa imaju i određene nedostatke, koji se uglavnom odnose na biomasu kao sirovinu:

- manipulacijski problemi kod skupljanja, pakiranja, distribucije i skladištenja biomase
- periodičnost nastanka biomase (sezonski rast)
- velika vlažnost biomase
- velika nasipna masa i mala gustoća biomase prije peletiranja ili briketiranja.

Oslobađanje topline kod peći odvija se zračenjem i konvekcijom (ventilator). Kod pojedinih peći dodatno se ugrađuju izmjenjivači topline, putem kojih se toplina isporučuje u postojeću mrežu grijanja. Kotlovi za centralno grijanje koriste se za zagrijavanje kuća za jednu ili više obitelji. Oslobađanje topline na mrežu grijanja odvija se putem izmjenjivača topline vode, kao kod uobičajenih kotlova za grijanje na loživo ulje i plin. Briketi i peleti su kao gorivo u standardiziranoj proizvodnji vrlo homogeni (nepromijenjena svojstva), stoga kod odgovarajuće tehnike loženja i izgaranja nema ni dima niti neugodna mirisa i malo je štetnih tvari. Koncentracija ugljikova monoksida u dimnim plinovima pri izgaranju briketa i peleta vrlo je mala, budući da se, zbog malog sadržaja vode u gorivu odvija stabilno izgaranje bez dima. Za neznatno stvaranje NO_x ponajprije je odgovoran dušik koji je u biomasi kemijski vezan. Nema stvaranja NO_x pomoću dušika sadržanog u zraku izgaranja ako su temperature sagorijevanja niže od 1300°C . Sumpora i teških metala u briketima i peletima uopće nema, ili postoje u neznatnim tragovima te stoga ne pridonose stvaranju štetnih tvari. Udio prašine u dimnim plinovima pri izgaranju briketa i peleta je malen, kao i nastajanje pepela. Pepeo se može bez problema kompostirati ili koristiti kao mineralno gnojivo. Čađa ne nastaje kod propisnog izgaranja.

U budućnosti se može očekivati povećana proizvodnja peleta iz poljoprivrednih i šumskih ostataka, kao i iz uzgoja energetskih kultura. Peleti su nova vrsta goriva na tržištu goriva za sustave centralnoga grijanja. Zbog odličnog radnog učinka kvalitetno proizvedenih peleta i njihova korištenja u modernim sustavima

Uzgoj i korištenje miskantusa (*Miscanthus* sp.)

centralnoga grijanja na daljinu i zagrijavanja privatnih objekata, peleti su postali izvor energije koji se sve češće koristi pa se zbog toga smatra gorivom budućnosti.

Kako bi se izbjegnuli dodatni troškovi sabijanja, biomasa miskantusa može se koristiti i u tzv. rinfuznom stanju, odnosno u obliku sječke (slika 62) ili bala (slika 63). Međutim, u tom slučaju energetskog iskorištenja gubi se dio efikasnosti tijekom procesa izgaranja u odnosu na peletirani i briketirani oblik (Bilandžija, 2012., 2014.).



Slika 62. *M x giganteus* u obliku sječke



Slika 63. *M x giganteus* u obliku bala

Energetske karakteristike trave *Miscanthus x giganteus* za izgaranje

Na energetske karakteristike svake biomase, pa tako i biomase trave *Miscanthus x giganteus*, utječu gorive i negorive tvari, ogrjevne vrijednosti, makroelementi i mikroelementi biomase, te lignocelulozni sastav. Naime, gorivo je smjesa složenih kemijskih spojeva koji spadaju u kategoriju organskih spojeva: ugljika (C), vodika (H), dušika (N) i sumpora (S). Gorivo se sastoji od:

- gorivog dijela (gorivi sastojci) i
- balasta (negorivi sastojci).

Gorive tvari: ugljik (C), vodik (H) i djelomično sumpor (S), praćeni kisikom (O) koji ne gori ali omogućava izgaranje.

Negorive tvari: vlaga i mineralne tvari (pepeo) - balast, koji je naročito izražen kod krutih goriva a manje kod tekućih, te minimalno kod plinovitih goriva. Plinovita goriva pak kao negorivu tvar sadržavaju i vodenu paru (H₂O) te indiferentne sastojke ugljikova dioksida (CO₂) i dušika (N) (Đonlagić, 2005., Bilandžija, 2015.).

U tablici 3 prikazani su navedeni elementi za kulturu *Miscanthus x giganteus*. Godine 2005. izašla je norma 14961 za kruta biogoriva (*Solid biofuels – Fuel specifications and classes*), koja unutar poljoprivredne i šumske biomase propisuje očekivane vrijednosti i u travi *Miscanthus x giganteus*. CEN/TS 14961:2005 norma temelji se na istraživanjima provedenima u Švedskoj, Finskoj, Nizozemskoj i Njemačkoj. Međutim, s obzirom na to da na sastav biomase, među ostalim, utječu i lokacija, klimatski elementi, tip tla, starost nasada, agrotehnika (vrijeme i način žetve, primjena pesticida i herbicida), mogu se očekivati određena odstupanja u odnosu na CEN/TS 14961:2005 normu za kruta biogoriva.

Jedan od osnovnih pokazatelja upotrebljivosti neke tvari kao goriva svakako je njezina ogrjevna vrijednost. Ogrjevne vrijednosti razlikuju se u ovisnosti o vrsti i sastavu biomase, kao i udjelu vode. Povećanim udjelom vode u nekom gorivu, u većoj ili manjoj mjeri, opada njegova ogrjevna vrijednost. Osnovna definicija ogrjevne vrijednosti pojedinoga goriva jest da je to količina topline koja se oslobađa pri potpunom izgaranju jedinice količine goriva, i to kada se dimni plinovi ohlade na temperaturu kojom su gorivo i zrak dovedeni u ložište (Đonlagić, 2005., Francescato i Antonini, 2008.). Određivanje ogrjevne vrijednosti može se provesti:

- analitički za goriva s točno poznatim kemijskim sastavom
- laboratorijski (kalorimetrom) za goriva s nepoznatim kemijskim sastavom

Nekad je ogrjevna vrijednost biomase uspoređivana s kamenim ugljenom, međutim, danas se uspoređuje s mineralnim tekućim gorivom, primjerice dizelskim gorivom. Okvirno računajući, može se reći da 2-3 kg biomase miskantusa može zamijeniti 1 kg dizelskoga goriva.

Tablica 3. Očekivane vrijednosti kulture *M x giganteus* prema CEN/TS 14961:2005 normi za kruta biogoriva

Analiza	<i>Miscanthus x giganteus</i>
Pepeo	1–6 (%)
Gornja ogrjevna vrijednost (H _g)	19,8 (MJ kg ⁻¹)
Donja ogrjevna vrijednost (H _d)	18,4 (MJ kg ⁻¹)
Ugljik (C)	49,0 (%)
Vodik (H)	6,4 (%)
Sumpor (S)	0,2 (%)
Dušik (N)	0,7 (%)
Kisik (O)	44,0 (%)
Klor (Cl)	0,2 (%)
Aluminij (Al)	40–600 (mg kg ⁻¹)
Kalcij (Ca)	900–3000 (mg kg ⁻¹)
Željezo (Fe)	40–400 (mg kg ⁻¹)
Kalij (K)	1000–11000 (mg kg ⁻¹)
Magnezij (Mg)	300–900 (mg kg ⁻¹)
Natrij (Na)	200–500 (mg kg ⁻¹)
Fosfor (P)	400–1200 (mg kg ⁻¹)
Silicij (Si)	2000–10000 (mg kg ⁻¹)
Arsen (As)	<0,1–0,2 (mg kg ⁻¹)
Kadmij (Cd)	0,05–0,20 (mg kg ⁻¹)
Krom (Cr)	0,4–6,0 (mg kg ⁻¹)
Nikal (Ni)	0,5–5,0 (mg kg ⁻¹)
Olovo (Pb)	<0,5–5,0 (mg kg ⁻¹)
Cink (Zn)	10–20 (mg kg ⁻¹)

Drugo je visokocijenjeno svojstvo biomase miskantusa nizak sadržaj anorganskih komponenti, kako pepela tako i hlapljivog dušika i sumpora. Sadržaj pepela najveći je u lisnatoj masi, no kod miskantusa lisnata masa većinom otpada na tlo tijekom prirodnog sušenja u polju. Negativna strana pepela u biomasi jedna je od najvećih smetnji za adekvatno vođenje procesa izgaranja. Osobito se to odnosi na izgaranje biomase u fluidiziranom sloju, gdje se mineralne tvari tope zbog visokih temperatura a zatim hlade pri kontaktku sa zrakom za izgaranje. Pritom se mineralne tvari stvrdnu i formiraju poroznu i čvrstu tvar tzv. šljaku. Zbog toga može doći do

začepljivanja otvora za dovod zraka za izgaranje i povećanja otpora njegovu dovodu, prljanja površine za izgaranje, a uzrokuje i teškoće u prilagodbi postrojenja za izgaranje biomase. Negativna strana pepela očituje se i u njegovu intenzivnom lijepljenju na površine ložišta, izmjenjivačkim površinama i kanalima, što može dovesti do težih oštećenja kod postorjenja za izgaranje biomase.

Određivanje sadržaja hlapljivih tvari u miskantusu od velike je važnosti jer se time određuje i način upotrebe goriva, kao i tip ložišta u kojem gorivo izgara. Dakle, zagrijavanjem biomase dolazi do njezina sušenja i termičkog raspadanja, što se manifestira izdvajanjem hlapljivih (isparljivih) tvari iz biomase. Taj postupak isparavanja (volatizacije) odvija se sve dok u gorivu preostane samo nehlapljiv dio. Sastav hlapljivih dijelova biomase može biti vrlo različit. Prije svega ovisi o sastavu biomase, temperaturi njezina raspadanja te brzini odvođenja produkta raspadanja (plinova). Smatra se da se pri nižim temperaturama pretežno izdvajaju spojevi ugljika i kisika, dok pri višim temperaturama dolazi do oslobađanja spojeva vodika.

Proizvodnja biogoriva druge generacije iz vrsta roda *Miscanthus*

Tekuća biogoriva

Posljednjih godina velik je naglasak stavljen na razvoj tehnologija proizvodnje tekućih biogoriva, s ciljem smanjenja ovisnosti o uvezenim gorivima. Financijska isplativost proizvodnje pojedinog biogoriva najviše ovisi o lokaciji i sirovini od koje se ono proizvodi. Alkoholna goriva mogu zamijeniti benzinska u Ottovim motorima, dok su biodizel i dimetil-eter (DME) pogodni za korištenje u dizelskim motorima. Nadalje, u usporedbi s prvom generacijom tekućih biogoriva, proizvodnja druge generacije tekućih biogoriva potencijalno može dovesti do učinkovitijeg iskorištenja tla, i to tako da se ciljano uzgaja sirovina, poput miskantusa, na tlima lošije kvalitete, za potrebe proizvodnje energije, omogućujući na taj način veću proizvodnju po jedinici površine.

Kao i za potrebe izravnog izgaranja, tako je i u slučaju proizvodnje tekućih goriva vrlo važno odabrati optimalan rok žetve kako bi sirovina bila u optimalnom obliku za navedeni proces pretvorbe. Kada se govori o tekućim biogorivima, poželjno je da sirovina sadržava manji udio lignina, koji predstavlja nepoželjnu komponentu za procese pretvorbe u tekuća biogoriva. Zbog toga je optimalan rok žetve jesenski, kada je prinos biomase najveći a udio lignina najmanji. No, i ovdje treba čekati završetak vegetacije, koji nastupa prvim jačim mrazom zbog već opisane

Uzgoj i korištenje miskantusa (*Miscanthus* sp.)

translokacije hraniva u korijenov sustav miskantusa. Kao i kod proizvodnje krutih biogoriva, i u ovom je slučaju najčešći oblik žetve miskantusa u balama i usitnjeno (sječka). Međutim, kako je zadovoljavajuće baliranje miskantusa zbog čvrste strukture stabljike često otežano, upravo prethodno usitnjeni miskantus može najlakše osigurati potrebnu gustoću bale i pripremiti sirovinu za proizvodnju tekućih biogoriva.

Kada se govori o tekućim biogorivima, brojne su tehnologije u primjeni, ovisno o vrsti sirovine i gorivu koje se proizvodi, poput fermentacije šećera za etanol, katalitičke pretvorbe etanola u miješane ugljikovodike, hidroliza celuloze, fermentacija do butanola, transesterifikacija ulja i masti u biodizel, hidrokrekiranje ulja i masti, piroliza i uplinjavanje različitih bioloških materijala itd.

Dva su osnovna procesa proizvodnje tekućih biogoriva iz biomase **biokemijska** i **termokemijska pretvorba**.

Biokemijska pretvorba biomase je proces u kojem enzimi potpomažu razgradnju strukturalnih ugljikohidrata (celuloza, hemiceluloza i lignin) do jednostavnih, fermentabilnih šećera koji potom, pomoću kvasaca ili bakterija, fermentiraju do alkohola. Najpoznatija tekuća biogoriva poput etanola, biodizela i butanola proizvode se biokemijskim putem – fermentacijom biomase biljaka.

S druge su strane **termokemijski procesi** pretvorbe biomase u tekuća goriva:

- piroliza i
- termokemijsko uplinjavanje.

U procesu **pirolize**, biomasa se prevodi u tekuće gorivo zbog primjene visokih temperatura bez prisutnosti kisika, pri čemu se dobije nekoliko visokovrijednih proizvoda:

- bioulje (kao tekuće gorivo)
- biougljen i
- nekondenzirajući plinovi (Khashgi i sur., 2000.).

Bioulje se uglavnom koristi za proizvodnju električne i toplinske energije, ali ne i u transportu (Ma i Hanna, 1999.).

Termokemijsko uplinjavanje uključuje djelomično sagorijevanje sirovine i razgradnju biomase na plinove vodik, ugljikov (II) oksid, vodenu paru, dušik, kao i male količine metana i viših ugljikovodika. Ovaj se sintetički plin (engl. *syngas*) potom pročišćava. U procesu termokemijskog uplinjavanja mogu se koristiti sirovine poput poljoprivrednih ostataka i energetskih kultura kao što je miskantus, odnosno kulture koje mogu biti uzgajane na tlima lošije kvalitete. Četiri su tipa biogoriva dobivena termokemijskim uplinjavanjem koja se trenutno najintenzivnije istražuju:

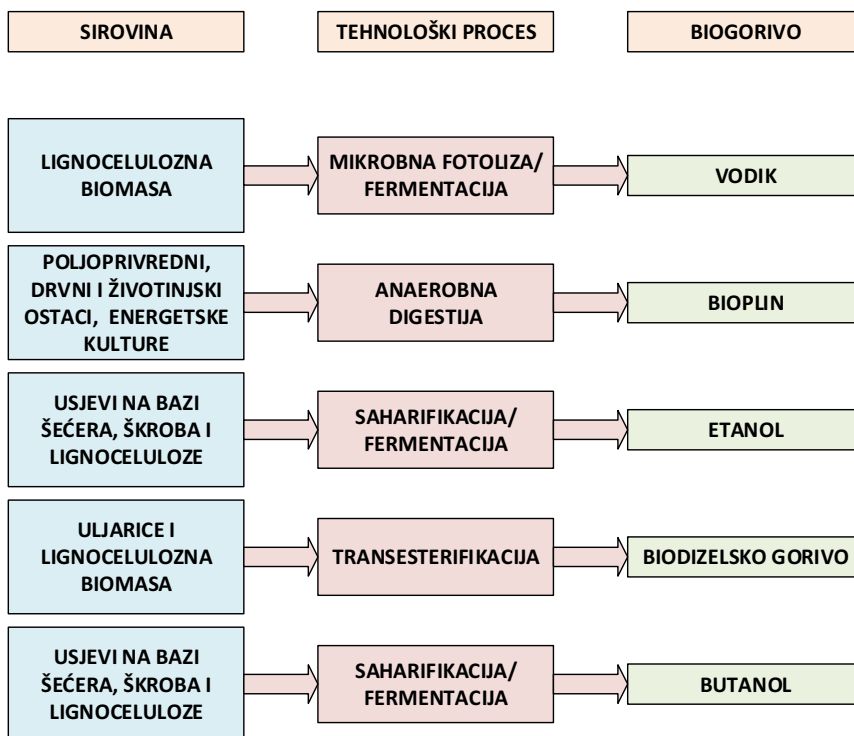
- metanol

Energetsko korištenje miskantusa

- vodik
- tekuća biogoriva proizvedena Fischer–Tropschovim postupkom i
- dimetil eter (DME) (Hamelinck i Faaji, 2006.).

Biogoriva proizvedena Fischer–Tropschovim postupkom općenito se nazivaju FTL goriva, a u njih se ubraja možda i najpoznatiji tip - BtL gorivo (engl. *Biomass-to-liquid*), koje se dobiva pretvorbom lignocelulozne biomase u tekuće gorivo. Međutim, u kontekstu biogoriva druge generacije, goriva dobivena termokemijskim postupkom još uvijek nisu toliko zanimljiva kao proizvodnja etanola i biodizela.

Danas postoji niz tehnologija, od kojih su neke još u razvojnoj fazi, za proizvodnju tekućih biogoriva druge generacije - hidroliza celuloze i hemiceluloze te fermentacija dobivenih šećera, ABE fermentacija za proizvodnju butanola, transesterifikacija prirodnih ulja i masti u biodizelsko gorivo, piroliza i uplinjavanje raznih bioloških materijala itd. (slika 65).



Slika 65. Tehnologije proizvodnje različitih biogoriva

Uzgoj i korištenje miskantusa (*Miscanthus* sp.)

Kada se govori o vrstama roda *Miscanthus*, najčešće se spominju kao sirovina za proizvodnju etanola i butanola, ali i kao sirovina za izravno sagorijevanje i pirolizu.

Proizvodnja etanola

Etanol iz biomase miskantusa, kao najzanimljivije tekuće biogorivo druge generacije, obnovljivi je izvor energije koji se dobiva fermentacijom jednostavnih šećera, a koristi se kao djelomična zamjena benzina u transportu. Dosad se etanol uglavnom proizvodio iz sirovina na bazi šećera (saharoze) te sirovina na bazi škroba. Međutim, sukladno Strategiji o biogorivima iz 2006. i Direktivi 2009/28/EZ, u Europskoj se uniji danas promovira druga generacija biogoriva, između ostalog i etanol iz lignocelulozne biomase. Stoga je upravo miskantus kao sirovina zanimljivo rješenje za buduću proizvodnju toga goriva (Palmarola-Adrados i sur., 2005., Janušić i sur., 2008.). **Potencijal miskantusa u proizvodnji toga je biogoriva oko 14.000 l/ha/god** (El Bassam, 2010.).

Etanol se može umješavati u benzin i u takvu obliku koristiti u postojećim motorima ili u modificiranim motorima ako se koristi u količini većoj od 85%. Tako 1 L etanola sadržava 66% energije 1 L benzina, ali ima veći oktanski broj pa pri umješavanju s benzinom povećava njegove performanse. Etanol također poboljšava i izgaranje goriva i na taj način dovodi do smanjenja emisija ugljikova monoksida, neizgorenih ugljikovodika itd. U odnosu na benzin, etanol sadržava sumpor u tragovima pa umješavanje s benzinom dovodi do smanjenja ukupne količine sumpora u gorivu, kao i smanjenja emisije sumporovih spojeva.

Trenutno je etanol proizveden iz lignocelulozne biomase (tzv. druga generacija) manje ekonomičan nego onaj koji se dobiva iz sirovina na bazi šećera i škroba pa se intenzivno provode istraživanja mogućnosti smanjenja troškova takve proizvodnje. Zahtjevi za smanjenjem troškova uključuju učinkovit predtretman kako bi se smanjila upotreba enzima, postignula učinkovitija hidroliza hemiceluloze i celuloze u šećere, korištenje šećera sa 5 i 6 C-atoma te proces integracije za smanjenje troškova kapitala i energije (Demirbas, 2011.).

Proizvodnja etanola iz miskantusa uključuje nekoliko osnovnih koraka:

- predtretman biomase
- hidrolizu celuloze i hemiceluloze
- fermentaciju jednostavnih šećera, kao razgradnih produkata.

Najveći je izazov u pretvorbi lignocelulozne biomase u etanol njezin predtretman. Zbog kompleksne strukture te sirovine, predtretman poboljšava razgradnju sirovine, uvjetuje uklanjanje lignina, dovodi do djelomične ili potpune hidrolize hemiceluloze te smanjenja količine kristalinične frakcije celuloze.

Predtretman

Odnos između strukturalnih čimbenika i sastava sirovine utječe na složenost lignoceluloze. Promjenjivost ovih svojstava objašnjava različitu probavljivost raznih tipova lignocelulozne biomase. U načelu, učinkoviti predtretman ometa ove barijere na način da hidrolitički enzimi mogu penetrirati i uzrokovati hidrolizu (Mosier i sur., 2005., Jurišić, 2012.).

Postoje znatne prepreke u učinkovitoj proizvodnji tekućih biogoriva druge generacije iz miskantusa. Primarno se odnose na čvrste fizikalne i kemijske veze između lignina i polisaharida u staničnoj stijenci biljke te na kristaliničnu strukturu celuloze. Kako bi se biomasa konvertirala u biogorivo, celuloza i hemiceluloza moraju biti u obliku u kojem su dostupne hidrolitičkim enzimima. S tim ciljem provodi se predtretman sirovine, koji mora zadovoljiti sljedeće zahtjeve:

- povećati učinkovitost hidrolize polisaharida u fermentabilne šećere
- izbjegnuti moguću razgradnju ili gubitak ugljikohidrata
- izbjegnuti tvorbu nusproizvoda koji inhibiraju daljnje procese hidrolize i fermentacije
- učinkovitost u pogledu troškova.

U potrazi za što ekonomičnijom izvedbom koja osigurava visoke prinose šećera iz celuloze i hemiceluloze, predtretmani se mogu klasificirati kao:

- biološki
- fizikalni
- kemijski
- fizikalno-kemijski procesi (Yang i Wyman, 2008.).

Tablica 4. Najvažniji tipovi predtretmana lignocelulozne biomase (Taherzadeh i Karimi, 2008.)

	Proces	Primjena	Promjene u biomasi	Zapažanja
Fizikalni predtretman	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Mljevenje ✓ Zračenje ✓ Ekstruzija ✓ Ekspanzija 	<ul style="list-style-type: none"> Bioetanol Bioplin 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ povećanje dostupne površine djelovanja i povećanje pora ✓ smanjenje kristaliničnosti celuloze ✓ djelomična ili potpuna hidroliza hemiceluloze 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ velik utrošak energije ✓ slabo uklanjanje lignina ✓ nije potreban tretman kemikalijama
Kemijski predtretman	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Ozonoliza ✓ Alkalni: NH₄, NaOH ✓ Kiselinski: HCl, H₂PO₄, H₂SO₄ ✓ Organska otapala 	<ul style="list-style-type: none"> Bioetanol 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ povećanje dostupne površine djelovanja i povećanje pora ✓ djelomična delignifikacija ✓ smanjenje stupnja polimerizacije ✓ djelomična ili potpuna hidroliza hemiceluloze 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ učinkovite i brze metode ✓ zahtijevaju kemijska sredstva
Fizikalno-kemijski predtretman	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Eksplozija parom ✓ Eksplozija u tekućem amonijaku ✓ Mikrovalovi ✓ Ultrazvuk ✓ CO₂ eksplozija 	<ul style="list-style-type: none"> Bioetanol 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ povećanje dostupne površine djelovanja i povećanje pora ✓ djelomična delignifikacija ✓ smanjenje stupnja polimerizacije ✓ djelomična ili potpuna hidroliza hemiceluloze 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ učinkovite i brze metode ✓ zahtijevaju primjenu kemikalija
Biološki predtretman	<ul style="list-style-type: none"> ✓ gljive ✓ aktinomicete 	<ul style="list-style-type: none"> Bioetanol Bioplin 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ delignifikacija ✓ djelomična hidroliza celuloze ✓ smanjenje stupnja polimerizacije 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ mali utrošak energije ✓ kemijska sredstva nisu potrebna

Enzimska hidroliza

Enzimska hidroliza lignocelulozne biomase, poput miskantusa, pokazala se najpogodnijim procesom u smislu konkurentnosti proizvodnje s ostalim tekućim gorivima (Mosier i sur., 2005.). Enzimska hidroliza celuloze i hemiceluloze katalizirana je visokospecifičnim enzimima celulazom i hemicelulazama. Hidroliza uključuje adsorpciju enzima na površinu celuloze i hemiceluloze, njihovu razgradnju na fermentabilne šećere i desorpciju enzima.

Fermentacija

U procesu fermentacije, za proizvodnju etanola može se koristiti bilo koja sirovina koja sadržava šećere. Poljoprivredne sirovine koje sadržavaju šećere u raznim oblicima mogu se razvrstati u tri kategorije: (1) one koje sadržavaju šećer, (2) one koje sadržavaju škrob i (3) one koje sadržavaju celulozu i hemicelulozu. Šećeri (npr. iz šećerne trske, melase, šećerne repe) mogu se izravno fermentirati korištenjem kvasca kako bi se proizveo etanol. Škrob (npr. iz kukuruza) i lignoceluloza (npr. iz poljoprivrednih ostataka i trava poput vrste *Miscanthus*) prvo se razgrađuju u šećer (hidrolizom, ili kombinacijom predtretmana i hidrolize) i potom fermentiraju.

Kada se govori o samom procesu proizvodnje etanola, postoji klasifikacija na nekoliko tipova proizvodnje, ovisno o tome u kojem se trenutku provodi hidroliza, odnosno fermentacija. Ako se enzimska hidroliza provodi neovisno o procesu fermentacije naziva se „odvojena hidroliza i fermentacija“ (engl. *separate hydrolysis and fermentation*, SHF). Hidroliza lignoceluloze provedena u prisutnosti fermentativnih mikroorganizama naziva se „istovremena saharifikacija i fermentacija“ (engl. *simultaneous hydrolysis and fermentation*, SSF). Istovremena saharifikacija celuloze (u glukozu) i hemiceluloze (u ksilozu i arabinozu) te paralelna fermentacija glukoze i ksiloze (eng. *simultaneous hydrolysis and co-fermentation* SSCF) provodi genetski modificiranim organizmima, sposobnim istovremeno fermentirati glukozu i ksilozu u istoj otopini u kojoj se provodi enzimska hidroliza celuloze i hemiceluloze. SSF i SSCF preferirani su procesi, budući da se obje jedinične operacije mogu provesti u istom bioreaktoru, što smanjuje troškove procesa (Mosier i sur., 2005.).

Daljnja obrada

Obrada proizvedenog etanola ovisi o metodi njegove proizvodnje i sastavu otopine nakon fermentacije. Uz vodu i etanol otopina sadržava i određen broj drugih tvari, i

Uzgoj i korištenje miskantusa (*Miscanthus* sp.)

to mikrobnu biomasu, hlapljive komponente i sl. Nakon procesa SSF i SSCF u otopini je prisutan i ostatak lignina (Taherzadeh i Karimi, 2008.).

Nakon fermentacije sadržaj etanola u otopini iznosi samo 10%. Etanol se izvlači iz fermentirane otopine destilacijom ili destilacijom u kombinaciji s adsorpcijom (Mosier i sur., 2005.). Destilacijom se etanol može koncentrirati ispod azeotropne koncentracije (95 mol%), nakon čega su potrebni određeni procesi separacije (npr. molekularno sito, azeotropna destilacija) (Demirbas, 2011.). Ostaci lignina, neizreagirana celuloza i hemiceluloza, pepeo, enzimi, organizmi i ostale komponente ostaju na dnu destilacijske kolone. Ovi se materijali mogu koncentrirati i sagorjeti kao gorivo u procesu, ili se mogu pretvoriti u razne proizvode dodane vrijednosti (Mosier i sur., 2005.). Trenutno se provode mnoga istraživanja usmjerena na poboljšanje procesa hidrolize, fermentacije i odvajanja radi smanjenja ukupnih troškova proizvodnje etanola.

Potencijalni prinosi etanola iz miskantusa

Izuzev izravnog sagorijevanja, proizvodnja etanola iz miskantusa najčešće je istraženo područje primjene ove energetske trave. Kada se govori o prinosu etanola, utvrđeno je da se po 1 ha uzgojenog miskantusa može proizvesti 5-10 t etanola. Količina proizvedenog etanola varira ovisno o vremenu žetve, genotipu (tj. lignoceluloznom sastavu), prinosu, predtretmanu i sl. Usporedbe radi, po 1 ha uzgojenoga divljeg prosa (*Panicum virgatum* L.) (kao trenutno najistraživanije energetske kulture, engl. *switchgrass*) proizvede se 3-4 t etanola, dok se prosječno iz 1 ha kukuruzovine proizvede 0,5-2 t etanola, a iz slame pšenice 0,7-0,9 t etanola/ha (Retka Schill, 2007., Koundinya, 2009.).

U nedavnom istraživanju na University of Illinois, SAD, uspoređeni su prinos i troškovi proizvodnje etanola iz miskantusa, divljeg prosa i stabljike kukuruza, a utvrđeno je da je miskantus najbolji izbor (Khanna, 2015.). Dobivenim modelima utvrđeno je da daje veći prinos etanola, i to uz veći profit, posebice kada je uzgojen na tlima lošije kvalitete. Osim toga, u odnosu na divlje proso i kukuruzovinu, miskantus i kratkoročno i dugoročno daje bolje rezultate s aspekta smanjenja emisija stakleničkih plinova.

Imajući na umu činjenicu da je kukuruzovina standardno dostupna sirovina, za vjerovati je da će ju industrijski procesi prije koristiti za proizvodnju etanola. Međutim, osim većeg prinosa etanola i veće čistoće goriva iz miskantusa (etanol iz stabljike kukuruza 59% je čišći, dok je etanol proizveden iz miskantusa i do 140% čišći od benzina), treba imati na umu i konačnu bolju isplativost proizvodnje etanola iz miskantusa zbog provođenja politike smanjenja emisija stakleničkih plinova.

Proizvodnja butanola

Posljednjih godina intenzivirana su istraživanja u području tzv. ABE fermentacije miskantusa, koji se pokazao dobrom sirovinom za proizvodnju butanola. Butanol je alkohol koji se proizvodi anaerobnom, ABE (aceton-butanol-etanol) fermentacijom miskantusa, bez prisutnosti kisika, s odnosima krajnjih proizvoda 3:6:1. Za razliku od alkoholne fermentacije, mikrobnih kultura koje sudjeluju u ovom procesu mogu fermentirati cijeli niz ugljikohidrata, uključujući laktozu, melasu, glukozu, fruktozu, manozu, dekstrin, škrob, ksilozu, arabinozu i inulin, a koji se nalaze u sirovini. Pritom su ksiloza i arabinoza pentozni šećeri u velikoj mjeri prisutni upravo u lignoceluloznoj sirovini poput miskantusa (Ramey i Yang, 2004.).

S obzirom na kemijsku strukturu, u usporedbi s etanolom umješavanje butanola je jednostavnije, a uz to butanol sadržava veću količinu energije nego etanol što pridonosi ukupnoj kvaliteti umiješanoga goriva. Nadalje, butanol je manje korozivan, može biti transportiran postojećim cjevovodima i dostupan na postojećim pumpnim stanicama. Mješavina 85% butanola i benzina može se koristiti u postojećim motorima, pri čemu je butanol slabije hlapljiv nego etanol ili benzin, što ga čini sigurnijim za korištenje. Butanol sadržava 22% kisika zbog čega sagorijeva «čišće» nego etanol. Kada se koristi u motorima s unutarnjim sagorijevanjem, isključivo se proizvodi ugljikov dioksid što ga čini ekološki prihvatljivijim gorivom od etanola (Khesghi i sur., 2000.).

Lignocelulozna biomasa, poput miskantusa, vrlo je pogodna sirovina za ABE fermentaciju zbog svojeg sastava i većeg udjela pentoznih šećera, što pridonosi smanjenom udjelu toksičnih komponenti. Najčešće su korištene mikrobnih kulture za ABE fermentaciju iz roda *Clostridium*, i to sojevi *C. acetobutylicum* i *C. beijerinckii* (Khesghi i sur., 2000.).

Termokemijski procesi proizvodnje tekućih biogoriva

Različiti se procesi mogu primijeniti s ciljem pretvorbe miskantusa u visokovrijedna goriva i kemikalije. Primjerice, reakcije izgaranja prisutne su u procesu pirolize biomase u ugljen, ulje i/ili plinove te njezina uplinjavanja u sintetski plin i/ili vodik. Svi se ovi proizvodi mogu dalje koristiti bez daljnje obrade u obliku toplinske ili električne energije. Nadalje, sintetski se plin i u nekim slučajevima ulje nakon pirolize mogu pretvoriti u tekuća goriva visoke kvalitete. Lignocelulozna se biomasa također može hidrolizirati s ciljem oslobađanja lignina i depolimerizacije polisaharida u jednostavne šećere. Sve ove pretvorbe uključuju složene pojedinačne reakcije ugljikohidrata, lignina i njihove međusobne reakcije (Lange, 2007.).

Uzgoj i korištenje miskantusa (*Miscanthus* sp.)

Piroliza

Poznati su različiti procesi pirolize, pri čemu treba zadovoljiti tri kriterija: (1) visoku temperaturu koja omogućava reakcije hidrolize i razgradnje; (2) veliku zalihu topline koja služi kao pogon; i (3) kratko vrijeme zadržavanja da se umanjuje kondenzacija isparljivih proizvoda (Lange, 2007.).

Prilikom zagrijavanja pri niskim temperaturama (<200°C) uz produljeno vrijeme reakcije, polimeri ugljikohidrata djelomično depolimeriziraju u kratke lance od nekih 200 jedinica. Kada se zagrijavaju na višim temperaturama, depolimerizacijske reakcije mogu dovesti do točke oslobađanja isparavajućih spojeva, koji pak mogu dovesti do tvorbe katrana. Na još višim temperaturama dolazi do opsežnog pucanja ugljikovih veza, što dovodi do formiranja raznih C₂₋₄ molekula i, na više od 700°C, stvara se mješoviti plin (CO, CO₂, H₂ i CH₄) umjerene ogrjevne vrijednosti (Lange, 2007.).

Ugljen dobiven pirolizom ima visoku energetska vrijednost (~30 MJ/kg), što ga čini vrijednim gorivom za industrijsku i širu potrošačku primjenu. Plinovi imaju umjerenu energetska vrijednost i mogu se koristiti za proizvodnju toplinske ili električne energije. Ulje dobiveno pirolizom vrlo je kompleksna i višefazna mješavina komponenata niske i visoke molekularne težine, uključujući vodu (~25 %), razne organske tvari, polimere ugljikohidrata i fragmente lignina, što ga čini nestabilnim, visoke kiselosti, djelomično topljivim u vodi i niske energetske vrijednosti (~17 MJ/kg), odnosno gorivom niske kvalitete. Može se koristiti za proizvodnju toplinske ili električne energije (Lange, 2007.).

Termokemijsko uplinjavanje

Piroliza biomase rezultira stvaranjem sintetskog plina, vrijedne mješavine CO i H₂. Proces dobivanja sintetskog plina endotermna je reakcija i najbolje se ostvaruje pri visokoj temperaturi (>1000°C), što se postiže uz dodatak kisika. Dobiveni sintetski plin može se naknadno pretvoriti u metanol ili dimetilni eter (DME), ili se može "polimerizirati" putem Fischer-Tropschove sinteze (Lange, 2007.).

Postoji mnogo načina procesa uplinjavanja, a razlikuju se u količini korištenog zraka (za proizvodnju toplinske ili električne energije) ili čistog kisika (za metanol ili Fischer-Tropschovu sintezu), reaktoru i uklanjanju kontaminirajućih tvari (npr. katan, pepeo i anorganske hlapljive komponente poput NH₃ i HCl) iz sintetskog plina (Lange, 2007.).

Tekuća biogoriva i miskantus u budućnosti

Tekuća se biogoriva danas proizvode iz jednostavnih šećera, škrobne i lignocelulozne biomase te iz ulja. Etanol i butanol trenutno se još uvijek dominantno komercijalno proizvode iz šećerne trske i škrobnatih sirovina. Međutim, s obzirom na težnje i legislativne smjernice, izvjesno je da je budućnost proizvodnje tekućih biogoriva u lignoceluloznoj biomasi (poput miskantusa) kao sirovini. Prednost miskantusa kao sirovine za proizvodnju tekućih biogoriva, uz sve njegove uzgojne pogodnosti, jest činjenica da ne kolidira s prehrambenim lancem. Međutim, komercijalizaciju takve proizvodnje još uvijek otežavaju izazovi u smislu tehničke izvedbe i isplativosti procesa pretvorbe lignoceluloze u tekuće biogorivo.

Unatoč poboljšanjima procesa proizvodnje tekućih biogoriva uvođenjem novih tehnologija, još uvijek ima prostora za njihovu učinkovitiju proizvodnju. Primarno se to odnosi na fazu predtretmana sirovine i sveukupno optimiranje isplativosti proizvodnje tekućih biogoriva druge generacije iz lignocelulozne biomase kao što je miskantus.

Kako bi proizvodnja tekućih biogoriva iz lignoceluloze bila osigurana na razini onih proizvedenih iz škrobnih sirovina, treba osigurati sljedeće čimbenike:

- razvoj jeftinije pretvorbe celuloze i hemiceluloze u fermentabilne šećere
- maksimalni učinak procesa fermentacije
- smanjenje potreba za energijom u procesu proizvodnje etanola.

Ocjena isplativosti uzgoja miskantusa za mala obiteljska gospodarstva

Naša mala obiteljska poljoprivredna gospodarstva uglavnom su neekonomska i kalkulaciju svoje proizvodnje ne računaju detaljno. Njima su najvažniji razlika između prihoda (količina prinosa x prodajna cijena) i izdataka (plaćeni troškovi sjemena, gnojiva, zaštitnih sredstava, goriva i usluga). Ne računaju trošenje na uložena trajna sredstva (amortizaciju) i naknadu za rad (plaću) članova svoje obitelji. Sva razlika između prihoda i izdataka predstavlja višak prihoda ili dohodak OPG-a. Na taj način shvaćaju ekonomski pozitivnom i proizvodnju koja se strogo gledano takvom ne može ekonomski opravdati.

Uzgoj miskantusa na malim obiteljskim gospodarstvima kod nas, prema prvim pretpostavkama, mogao bi imati dobre izgled. Zašto to pretpostavljaju stručnjaci koji na fakultetu i službama potpore hrvatskim poljoprivrednicima savjetuju širenje uzgoja ove kulture u našoj stručnoj praksi? Nekoliko je osnovnih razloga.

Najprije, riječ je o uzgoju čija je tehnologija prilično jednostavna, iako nije dovoljno poznata u našoj stručnoj praksi. Uz to, u uzgoju se može koristiti postojeća mehanizacija uobičajena u ratarskoj proizvodnji.

Također, riječ je o održivu gospodarenju na poljoprivredno neaktivnom zemljištu te uzgoju biomase za proizvodnju ekogoriva, na što smo se kao država obvezali i imat ćemo dodatne troškove ako ovakav oblik iskorištenja biomase ne primijenimo u većoj mjeri. To znači da bi proizvođači biomase vrlo brzo mogli imati mogućnost stalnog otkupa svoga proizvoda kao sirovine za biogorivo.

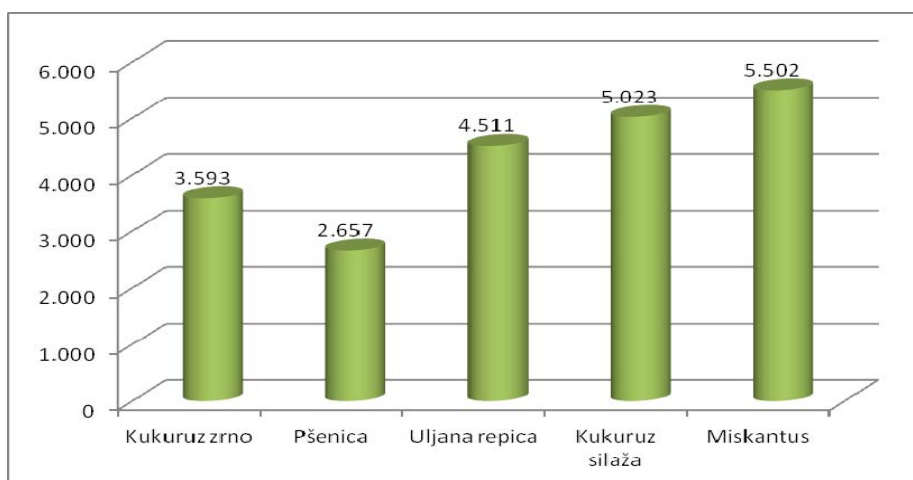
Velika je prednost i što su ulaganja u uzgoj relativno niska, a raspodijeljena na 20-ak godina iskorištenja nasada predstavljaju manji godišnji trošak nego kod uobičajenih ratarskih kultura, jednakih ili manjih godišnjih prihoda. Svakako je potrebno zasnovati proizvodnju na većim površinama (većim od 10 ha), što organizacijski može predstavljati problem u našim uvjetima. Sretne su okolnosti, nažalost, da u Hrvatskoj ima i previše zapuštenih i neobrađenih površina pogodnih za uzgoj miskantusa (pogodna i manje plodna tla).

Tablica 5. Usporedba prihoda i izdataka pri uzgoju kultura na OPG-u

	Kukuruz zрно	Pšenica	Uljana repica	Kukuruz silaža	Miskantus
Prosječan prinos kg	9.000	5.500	3.000	45.000	19.500
Prihodi kn	12.870	7.925	7.850	15.300	9.009
Izdaci kn	9.277	5.268	3.339	10.277	3.507
Višak prihoda kn	3.593	2.657	4.511	5.023	5.502

Usporedba ostatka ili viška prihoda, kada se od ukupne vrijednosti proizvodnje oduzmu plaćeni troškovi na OPG-u, pokazuju kako je višak prihoda ili dohodak OPG-a pri uzgoju miskantusa dvostruko veći nego kod uzgoja pšenice, ali i oko 35% veći nego kod uzgoja kukuruza za zрно.

Nedostatak je što se prosječnih nešto manje od četiri godine viška prihoda, odnosno dohotka mora prethodno uložiti za zasnivanje 1 ha nasada miskantusa (oko 20.000 kn). Zato će kod većeg širenja uzgoja ove kulture važnost imati ugovaranje sadnje i otkupa, koje će podrazumijevati i određeno kreditiranje sadnje na manjim OPG-ovima.



Grafikon 1. Usporedba viška prihoda na OPG-u za neke ratarske kulture i miskantus (HRK/ha)

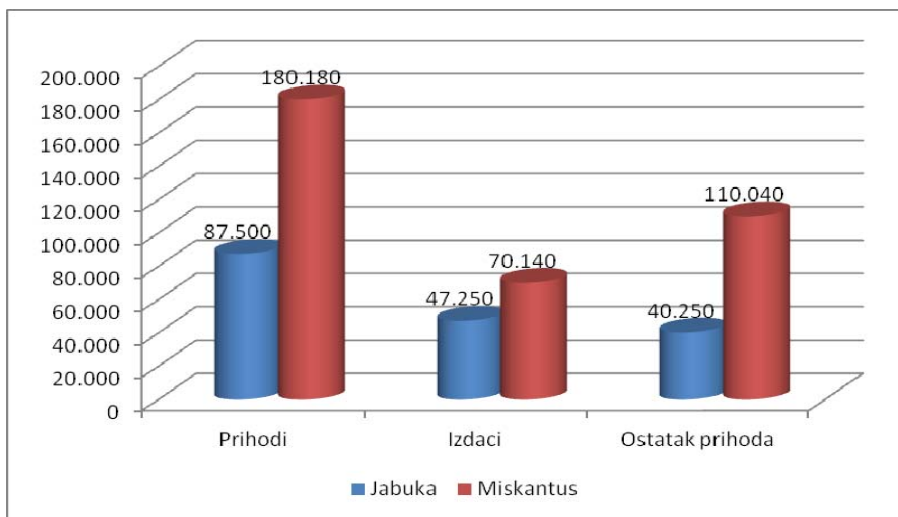
Ekonomsku ili bolje rečeno financijsku opravdanost uzgoja miskantusa na manjim OPG-ovima moguće je prikazati i u odnosu dohotka (prihodi umanjeni za izdatke-

Uzgoj i korištenje miskantusa (*Miscanthus* sp.)

plaćene troškove) na uložena sredstva. Tako se učinkovitost uzgoja miskantusa može usporediti s uzgojem neke od voćnih vrsta, budući da se nakon početnog ulaganja u dvije godine nasad iskorištava najmanje 20 godina.

Za usporedbu se može uzeti uzgoj jabuka. Na manjim OPG-ovima za podizanje 1 ha voćnjaka jabuka srednje gustog sklopa i poluintenzivnog uzgoja s prosječnim prirodnom u punoj rodnosti od 25 tona jabuka potrebno je oko 200 tisuća kuna, što odgovara ulaganjima pri podizanju 10 ha nasada miskantusa.

Vidljivo je da su prihodi za istu visinu ulaganja kod nasada miskantusa više nego dvostruko veći, a višak prihoda, odnosno dohodak OPG-a veći je 2,5 puta (110 u odnosu na 40 tisuća kn) kod uzgoja ove energetske trave.



Grafikon 2. Usporedba prihoda, izdataka i viška prihoda pri uzgoju jabuke i miskantusa za istu visinu ulaganja (oko 200.000 HRK)

Već prema ovoj jednostavnoj ekonomskoj analizi, može se zaključiti kako uzgoj miskantusa može predstavljati dobru dopunu u uobičajenom plodoredu ratarske proizvodnje naših OPG-ova, ali i dobru zamjenu za uzgoj višegodišnjih kultura koje su na manjim površinama vrlo rizične sa stajališta tržišta. Organizacija proizvodnje i organizirani otkup uskoro bi trebali biti glavne poredbene prednosti kultura namijenjenih proizvodnji biomase.

Koliko su opravdane stručne pretpostavke u kombinaciji s prikazanim osnovnim izračunima može se provjeriti točnijom analizom detaljnijih kalkulacija i usporedbi za poljoprivredno gospodarstvo.

Ekonomska analiza uzgoja miskantusa na poljoprivrednom gospodarstvu

Za sveobuhvatniju i točniju analizu ekonomske opravdanosti ulaganja u veću površinu kod uzgoja miskantusa potrebno je objasniti pojmove i odnose između više ekonomskih veličina koje određuju učinkovitost poljoprivredne proizvodnje.

Investicijske kalkulacije u uzgoju miskantusa

Uvod u investiranje u poljoprivredi

Kada se upravitelj poljoprivrednoga gospodarstva odlučuje na investicije u poljoprivredi? U pravilu onda kada je do krajnjih granica fizički i vrijednosno iskoristio postojeću imovinu. Katkad se investicije provode kako bi se dodatno iskoristili resursi gospodarstva (zemljište, radna snaga, mehanizacija, zadržani dohodak sadašnjeg poslovanja) i povećao profit gospodarstva u cjelini. Rjeđe vlastiti, a češće posuđeni novac ulaže se u manje ili veće poboljšanje postojeće proizvodnje ili povećanje njezina obujma. Osnovni su motivi kod većih ulaganja veći dobitak/dohodak od proizvodnje, dok se manja ulaganja provode radi zadržavanja postojećeg dobitka/dohotka.

Svaka je investicija ulaganje sredstava (vlastita ili tuđeg) na dulji rok, s obvezom njihova vraćanja izvoru financiranja uz određenu naknadu. Ta se naknada kod korištenja tuđih sredstava mjeri kamatom, a kod vlastitih sredstava stopom profita. Svako ulaganje, pa tako i ovo u nasad miskantusa, predstavlja određeni rizik pa gospodari prije ulaska u investiciju moraju detaljno sagledati više kritičnih točaka u planiranju i provođenju investicijskog projekta.

Uzgoj i korištenje miskantusa (*Miscanthus* sp.)

Osim o čimbenicima unutar samoga gospodarstva (organizaciji rada i proizvodnim učincima na farmi), isplativost investicije u poljoprivredi ovisi i o vanjskim čimbenicima (klimatske prilike, cijene *inputa* i *outputa*, mjere agrarne politike...). Nakon sagledavanja svih čimbenika poslovanja cijelog projekta u razdoblju njegova iskorištenja (do novoga fizičkoga i ekonomskog zastarijevanja) donosi se investicijska odluka - ući u investicijski ciklus ili ne ući u njega.

Pojam, planiranje i ocjena investicije korištenjem kalkulacija

Pod pojmom investicija podrazumijeva se ulaganje kapitala i kapital uložen u određeni poduzetnički projekt, u ovom slučaju u nasad miskantusa i nabavku potrebne poljoprivredne mehanizacije. Investicije su uvijek novčana ulaganja s ciljem obavljanja neke djelatnosti, odnosno stjecanja prihoda. Investicije su ulaganja u sadašnjosti, a koristi od tih ulaganja ostvarit će se u budućnosti. Ulažu se sredstva dok proces investiranja traje, a koristi nastaju nakon završetka investiranja (ulaganja) i postoje tijekom razdoblja trajanja (korištenja) završene investicije. Po tome se investicije razlikuju od ulaganja u tekuće poslovanje: ulaganje u tekuće poslovanje ujedno predstavlja i utroške (odnosno troškove), što odmah rezultira stvaranjem učinaka (odnosno prihoda). Investicije će se iskorištavati u budućnosti, kada će nastajati troškovi i prihodi.

U tijeku razdoblja ulaganja, ali i iskorištenja projekta, uvijek postoje nesigurnost i rizik hoće li se sve odvijati prema predviđenim odnosima prihoda i troškova. Tako su moguća odstupanja nabavne cijene osnovnih i obrtnih sredstava za realizaciju projekta, a poslije također i cijena utrošaka rada i materijala u tekućoj proizvodnji. U poljoprivredi neizvjesnost dodatno povećavaju promjenjivi odnosi na tržištu poljoprivrednih proizvoda, ali i činjenica da je u agrobiznisu riječ o prirodnom karakteru proizvodnje koji ovisi o klimatskim prilikama, agrotehničkim mjerama i genetskim obilježjima biljnog materijala.

Investicijske kalkulacije

Investicijske kalkulacije računski su postupak ocjene isplativosti trajnih ulaganja kapitala u neki projekt u agrobiznisu korištenjem priljeva i odljeva novčanih sredstava tijekom razdoblja trajanja projekta. Posebnosti projekata u poljoprivredi određene su razdobljem ulaganja u zasnivanje projekta, te razdobljem trajanja projekta ili povrata ulaganja. U nekim slučajevima ulaganja se provode u jednoj tehnološkoj ili kalendarskoj godini, a u drugoj godini projekt već posluje u svom punom obujmu. Takvi su projekti u agrobiznisu rijetki (primjer peradnjaci, hladnjače, sortirnice voća, mljekare i slično). Češći su projekti u kojima se nakon

godine ulaganja poslovanje razvija postupno do punog obujma, a kao primjer može se navesti uzgoj miskantusa. Provedeno ulaganje u nasade nikad ne rezultira punom proizvodnjom, puni kapacitet proizvodnje postiže se u drugoj ili trećoj godini.

Tako je miskantus specifičan primjer investicije u dugogodišnje nasade. Nakon prve godine zasnivanja nasada (voćnjaka ili vinograda) potrebno je nekoliko godina dodatnih ulaganja s uzgojnim troškovima, da bi u trećoj ili četvrtoj godini za vinograde, odnosno četvrtoj ili petoj godini za većinu voćnjaka završilo razdoblje ulaganja, budući da su u tim godinama vrijednosti početnih priroda najčešće veće od godišnjih uzgojnih troškova, što označava kraj razdoblja ulaganja u projekt i početak razdoblja iskorištavanja projekta. Kod miskantusa, posljednjom godinom ulaganja pretpostavlja se treća godina nakon sadnje.

Ocjena isplativosti investicije provodi se statičkim (investicijskim kalkulacijama) i dinamičkim metodama (razdoblje povrata ulaganja, neto sadašnja vrijednost, interna stopa rentabilnosti...). Kakve su investicijske kalkulacije kao statička metoda ocjene ulaganja?

Investicijske kalkulacije ukupnih troškova uzgoja miskantusa

Za razliku od kalkulacija pokrića varijabilnih troškova koje su pokazatelj uspješnosti poslovanja gospodarstva u vrijeme poslovanja s punim kapacitetom, investicijske kalkulacije objašnjavaju kretanja prihoda i troškova projekta do godine punog poslovanja.

Miskantus je nova kultura u našoj poljoprivredi, ali zbog jednostavne tehnologije slične uzgoju trava naši će je proizvođači sigurno vrlo lako i brzo usvojiti. Isplativost proizvodnje vrlo je visoka računajući sa cijenama na EU-tržištu. Kod nas, zbog početnog stvaranja tržišta otkupa, otkupna će cijena sigurno biti nešto niža, pogotovo što će u kratkom roku velik broj proizvođača oraničnih kultura pokušati povećati svoj dohodak sadnjom miskantusa, što će dovesti do stabilne ponude i relativno niže cijene.

Pretpostavljeno je da će se miskantus uzgajati na površini od 10 ha i da gospodarstvo posjeduje potrebnu poljoprivrednu mehanizaciju u ratarstvu koju koristi za zasnivanje i njegu kulture, dok se usluge tuđe mehanizacije koriste za prikupljanje i usitnjavanje miskantusa kod žetve.

Uzgoj i korištenje miskantusa (*Miscanthus* sp.)

Tablica 6. Kalkulacija cijene koštanja miskantusa

Opis	Jedinica mjere	Ulaganje	Godina starosti nasada				Ukupno
			1	2	3	4-11	
Površina	ha	10	10	10	10	10	
Prinos	tona/ha	0	0,00	6,00	11,50	19,50	
Prichod od proizvodnje	kn	0	0	27.720	53.130	90.090,00	801.570,00
Ukupni prihodi	kn	0	0	27.720	53.130	90.090,00	801.570,00
Troškovi							
Troškovi rizoma	kn	130.000					130.000,00
Troškovi gnojiva	kn	9.800	9.800	9.800	9.800	9.800,00	117.600,00
Troškovi herbicida	kn	8.400	2.940		0	0,00	11.340,00
Aplikacija herbicida	kn	7.700	2.695				10.395,00
Troškovi vlastite mehanizacije	kn	27.300	18.018	18.018	18.018	18.018,00	225.498,00
Troškovi usluga mehanizacije	kn	10.206	7.252	7.252	7.252	7.252,03	89.978,32
Trošak ljudskog rada	kn	5.810	6.000	6.000	6.000	6.000,00	71.810,00
Ukupni troškovi	kn	199.216	46.705	41.070	41.070	41.070,03	656.621,32
Dohodak proizvodnje	kn	-199.216	-46.705	-13.350	12.060	49.019,97	144.948,68
Cijena koštanja	kn/tona			685	357	211	

Osnovna je prednost proizvodnje miskantusa s organizacijsko-ekonomskog stajališta relativna jednostavnost uzgoja, kao i podudarnost tehnoloških zahtjeva i agrotehničkih mjera s uobičajenim kulturama na obradivim površinama. S ekonomskog stajališta, nedostatak je visoko početno ulaganje od gotovo 200 tisuća kuna u prvoj godini, te još oko 47 tisuća kuna u sljedećoj godini, dok se u trećoj godini ostvaruje gubitak od oko 12 tisuća kuna. Ukupan je iznos neto ulaganja u trećoj godini gotovo 260 tisuća kuna na 10 ha, odnosno 25.597 kuna po ha.

Cijena je koštanja, kao odnos ukupnih troškova i prinosa, u godini pune proizvodnje (od četvrte do jedanaeste godine nakon sadnje) 211 kn po toni, što je znatno ispod prodajne cijene i jamči ekonomsku sigurnost poslovanja.

U godinama pune proizvodnje ostvaruju se godišnji dohoci od oko 49 tisuća kn za cijeli nasad, odnosno 4902 kn po hektaru. U tim se godinama na ukupnim površinama akumulira ukupno oko 145 tisuća kuna dohotka ili 14.495 kn/ha.

Kalkulacija pokriva varijabilnih troškova proizvodnje miskantusa

Varijabilni troškovi specifični su i izravno povezani s određenom vrstom proizvodnje. Glavna su im obilježja da se javljaju samo ako postoji proizvodnja (ne postoje ako se ništa ne proizvodi), povećavaju se s povećanjem razine proizvodnje, a vrlo se lako bilježe s obzirom na to da je riječ o utrošcima materijala i rada koji se kroz tehnološke normative i tržišne cijene lako iskazuju i količinski i vrijednosno. Kod biljne proizvodnje kultura kao što je miskantus varijabilni su troškovi: sadni materijal, organska i mineralna gnojiva, sredstva za zaštitu bilja, troškovi unajmljene usluge mehanizacije, gorivo i mazivo za rad vlastite mehanizacije.

Izračun kalkulacije pokriva varijabilnih troškova (engl. *gross margin*) jednostavan je način utvrđivanja ekonomske isplativosti proizvodnje poljoprivrednoga gospodarstva, posebice obiteljskog koje ne računa sve ekonomske troškove svoje proizvodnje. Pritom se najčešće ne računaju troškovi rada članova obitelji i amortizacija imovine uložene u gospodarstvo.

Tako se izračun kalkulacije pokriva varijabilnih troškova odnosi na utvrđivanje razlike između ukupnih prihoda i varijabilnih troškova proizvodnje kojom se poljoprivredno gospodarstvo bavi. To je ekonomski pokazatelj gospodarskog položaja gospodarstva u nekoj proizvodnji pomoću kojeg se mogu uspoređivati rezultati gospodarstava koja se razlikuju po veličini kapaciteta – u ovom slučaju veličini proizvodne površine. Važno je da su doprinosi pokriva neke proizvodnje koja je dio sadašnjeg poslovanja ili se planira njezino uvođenje u strukturu proizvodnje pozitivni, jer to znači da mogu pridonijeti boljem iskorištenju sadašnjih kapaciteta gospodarstva (zemljište, mehanizacija, radna snaga) i mogućem povećanju dohotka

Uzgoj i korištenje miskantusa (*Miscanthus* sp.)

gospodarstva. Pokrivanjem izravnih troškova proizvodnje (sjeme, gnojivo, zaštitna sredstva, unajmljeni rad, gorivo vlastite mehanizacije) stečeni su preduvjeti da se dio financijskog rezultata koristi za pokrivanje fiksnih troškova i ostvarenje dohotka gospodarstva.

S prinosom u punoj proizvodnji kod uzgoja miskantusa od 19.500 kg po ha i prodajnom cijenom od 0,462 kn/kg ostvaruje se prihod od 9009 kn po hektaru. Po visini prihoda miskantus je oko 13 postotnih bodova bolji od pšenice i uljane repice, dok za kukuruzom zaostaje gotovo 43, šećernom repom 53, a kukuruznom silažom gotovo 70 postotnih bodova. Na gospodarski položaj miskantusa više djeluju varijabilni troškovi nego prihodi. Varijabilni su troškovi 3507 kn pa je doprinos pokriva 5502 kn.

Tablica 7. Usporedba pokrića varijabilnih troškova miskantusa i odabranih ratarskih kultura

	Kukuruz zrno	Pšenica	Šećerna repa	Uljana repica	Kukuruz silaža	Miskantus
Prosječan prinos kg	9.000	5.500	55.000	3.000	45.000	19.500
Prihodi kn	12.870	7.925	13.780	7.850	15.300	9.009
Varijabilni troškovi kn	9.277	5.268	6.014	3.339	10.277	3.507
Doprinos pokriva kn	3.593	2.657	7.766	4.511	5.023	5.502
Indeks doprinosa (Miskantus=100)	65	48	141	82	91	100

Doprinos pokriva kao razlika prihoda i varijabilnih troškova pozitivan je kod svih analiziranih kultura. Prema kalkulaciji pokriva varijabilnih troškova, proizvodnja miskantusa omogućuje doprinos pokriva od 5502 kn po ha i on je znatno viši nego kod proizvodnje pšenice i kukuruza. Proizvodnja uljane repice i kukuruzne silaže donosi nešto niži doprinos pokriva, dok je šećerna repa više nego konkurentna miskantusu s doprinosom pokriva od 7766 kn/ha.

Usporedba ekonomskih rezultata proizvodnje miskantusa i drugih ratarskih kultura na poljoprivrednom gospodarstvu

Za usporedbu ekonomskih rezultata proizvodnje miskantusa i uobičajenih kultura naših poljoprivrednih gospodarstava korištene su kalkulacije prema cijenama *inputa* i *outputa* 2013. godine. Za sve analizirane kulture gospodarstva ostvaruju dohodak,

jer su cijene koštanja (ukupni troškovi podijeljeni s prinosom) niže od prodajnih cijena, osim kod pšenice gdje je zabilježen gubitak u odnosu prihoda i ukupnih troškova.

Tablica 8. Usporedba ekonomskih rezultata (kultura/hektaru) prema cijenama 2013. godine

	Kukuruz zrno	Pšenica	Šećerna repa	Uljana repica	Kukuruz silaza	Miskantus*
Prosječan prinos kg	9.000	5.500	55.000	3.000	45.000	19.500
Prihodi kn	12.870	7.925	13.780	7.850	15.300	9009
Troškovi kn	12.306	8.297	9043	6.368	13.306	4107
Dohodak kn	564	-372	4.737	1.482	1.994	4902
Indeks dohotka (Miskantus=100)	11,50	-7,58	96,63	30,23	40,68	100
Cijena koštanja kn						
po toni	1.367	1.508	164	2.123	296	211
po kg	1,37	1,51	0,16	2,12	0,30	0,21
Prodajna cijena kn						
po kg	1,18	1,25	0,20	2,25	0,29	0,46
po toni	1.180	1.250	199	2.250	290	462

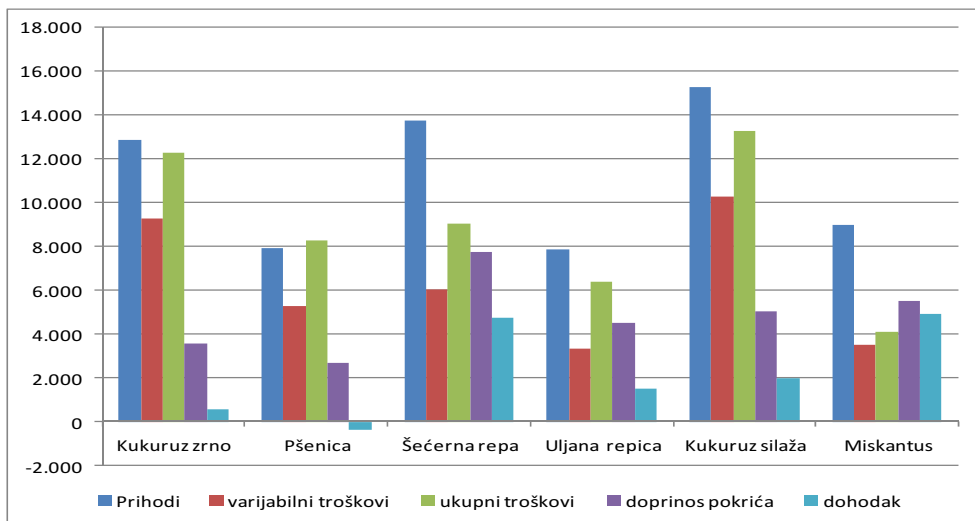
*u godini pune proizvodnje

Premda su zbog veličine prinosa i prodajne cijene proizvodnje šećerne repe, kukuruza u zrnu i kukuruzne silaže znatno prihodovnije od proizvodnje miskantusa, zbog nižih troškova proizvodnje jedino je šećerna repa po dohotku usporediva s miskantusom.

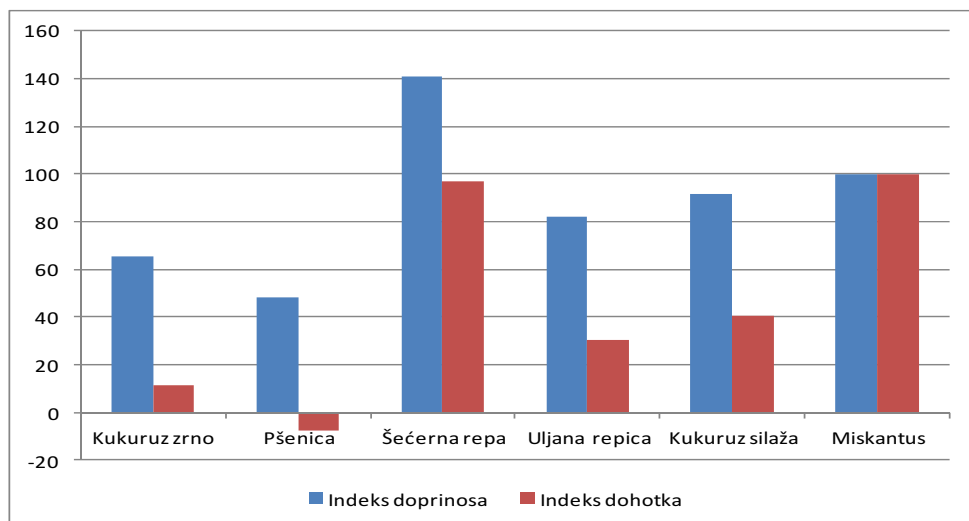
Indeks dohotka pokazuje da je uzgoj miskantusa na površini od 10 ha gotovo triput isplativiji od proizvodnje kukuruzne silaže, a čak 10 puta od proizvodnje kukuruza u zrnu po cijenama 2013. godine. Po visini dohotka miskantusu je najbliži uzgoj šećerne repe.

Sa stajališta poljoprivrednoga gospodarstva, vrlo je važno što se računajući sve troškove proizvodnje (varijabilne i fiksne) miskantus pokazuje kao kultura s vjerojatno najvećim dohotkom po jedinici površine. To znači da ekonomski uspješno sudjeluje u proširenju vrsta proizvodnje na gospodarstvu i kao dodatna proizvodnja ili zamjena neke druge manje ekonomski vrijedne kulture.

Uzgoj i korištenje miskantusa (*Miscanthus* sp.)



Grafikon 3. Usporedba ekonomskih veličina kod različitih kultura na gospodarstvu



Grafikon 4. Usporedba indeksa doprinosa pokrića i dohotka

Literatura

- Adari, S. i Shiotani, I. (1962) The cytotaxonomy of the genus *Miscanthus* and its phylogenetic status. *Bulletin of the Faculty of Agriculture, Mie University*, 25: 1-14.
- Andersson, N.J. (1885) Description of *Miscanthus sinensis*. Oefoers. Soensk. Vet. Akad. Forh. Stockholm, 7: 165-167.
- Beale, C.V. i Long, S. P. (1997a) The effects of nitrogen and irrigation on the productivity of the C4 grasses *Miscanthus x giganteus* and *Spartina cynosuroides*. In: Bullard, M. J. i sur. (ur), *Biomass and Bioenergy Crops. Aspects of Applied Biology*, 49: 225-30.
- Beale, C.V. i Long, S. P. (1997b) Seasonal dynamics of nutrient accumulation and partitioning in the perennial C4-grasses *Miscanthus x giganteus* and *Spartina cynosuroides*. In: Bullard, M. J. i sur. (ur), *Biomass and Bioenergy Crops. Aspects of Applied Biology*, 12: 419-428.
- Beuch, S., Boelcke, B. i Belau, L. (2000) Effect of the organic residues of *Miscanthus x giganteus* on the soil organic matter level of arable soils. *Journal of Agronomy and Crop Science*, vol 184, no 2: 111-120.
- Bhattacharya, S.C. i Salam, P.A. (2002) Low greenhouse gas biomass options for cooking in the developing countries. *Biomass and Bioenergy*, 22: 305 - 317.
- Bilandžija, N., Jurisić, V., Voća, N., Leto, J., Matin, A., Sito, S., Krička, T. (2016) Combustion properties of *Miscanthus x giganteus* biomass – Optimization of harvest time. *Journal of the Energy Institute*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.joei.2016.05.009>
- Bilandžija, N. (2012) Proizvodnja biogoriva iz energetske kulture *Miscanthus x giganteus*. *Gospodarski list*, 10: 21.
- Bilandžija, N. (2014) Perspektiva i potencijal uzgoja kulture *Miscanthus x giganteus* u Republici Hrvatskoj. *Inženjerstvo okoliša*, 1: 81 – 87.
- Bilandžija, N. (2015) Potencijal vrste *Miscanthus x giganteus* kao energetske kulture u različitim tehnološkim i agroekološkim uvjetima. *Doktorska disertacija*. Sveučilište u Zagrebu Agronomski fakultet.
- Bilandžija, N. i Sito, S. (2013) Poljoprivredna tehnika u uzgoju energetske kulture *Miscanthus x giganteus*. *Proceedings: „Actual Tasks on Agricultural Engineering“*. Opatija, Hrvatska, 343-354.

Uzgoj i korištenje miskantusa (*Miscanthus* sp.)

- Boelke, B. (1995) Untersuchungsergebnisse zum Einfluss der Pflanzzeit und des Termins der Stickstoffdüngung auf die Ertragsbildung von *Miscanthus*. In: *Symposium Miscanthus x Biomassebereitstellung, energetische und stoffliche Nutzung*, FNR-Schriftenreihe 'Nachwachsende Rohstoffe' 4. Landwirtschaftsverlag, Münster: 71-86.
- Bullard, M.J., Nixon, P.M. I. i Heath, M.C. (1997) Quantifying the yield of *Miscanthus x giganteus* in the UK. In: Bullard, M. J. i sur. (ur), *Biomass and Bioenergy Crops. Aspects of Applied Biology*, 49: 199-206.
- Bullard, M.J., Nixon, P.M.I., Kilpatrick, J.B., Heath, M.C. i Speller, C.S. (1995) Principles of weed control in *Miscanthus* spp. under contrasting field conditions. In *Proceedings of British Crop Protection Conference (Weeds). November, 1995, Brighton, UK*: 991-996.
- Bunting, E.S. (1978) Agronomic and physiological factors affecting forage maize production. In E.S. Bunting, B.F. Pain, R.H. Phipps, J. M. Wilkinson and R.E. Gunn (eds) *Forage Maize, Production and Utilisation*, Agricultural Research Council, London: 5745.
- Caslin, B., Finnan, J., McCracken, A. (2010) *Miscanthus Best Practices Guidelines*. Teagasc and the Agri-Food and Bioscience Institute.
- Chou, C.H., Chiang, T.Y. and Chiang, Y.C. (2001) Towards an integrative biology research: A case study on adaptive and evolutionary trends of *Miscanthus* populations in Taiwan. *Weed Biology and Management*, vol 1, no 2: 81-88.
- Christian, D.G. i Haase, E. (2001) Agronomy of *Miscanthus*. In: Jones, M.B. i Walsh, M. (ur), *Miscanthus for energy and fiber*. Eartscan London UK: 21-45.
- Christian, D.G. i Riche, A.B. (1998) Nitrate leaching losses under *Miscanthus* grass planted on a silty day loam soil. *Soil Use and Management*, vol 14, no 3: 131-135.
- Christian, D.G., Riche, A.B., Yates, N.E. (2008) Growth, yield and mineral content of *Miscanthus x giganteus* grown as a biofuel for 14 successive harvests. *Industrial Crops and Products*. 28 (1): 320-327.
- Christian, D.G., Bullard, M.J., Wilkins, C. (1997a) The agronomy of some herbaceous crops grown for energy in Southern England. In: Bullard, M.J. i sur. (ur), *Biomass and Bioenergy Crops. Aspects of Applied Biology*, 49: 41-51.
- Christian, D.G., Lampty, J.N.L., Forde, S.M.D., Plumb, R.T. (1994) First report of barley yellow dwarf leuteovirus on *Miscanthus* in the United Kingdom. *European Journal of Plant Pathology*, 100: 167-70.
- Christian, D.G., Riche, A.B., Yates, N.E. (1997b) Nitrate leaching under *Miscanthus* grass. In: van der Bilj, G. i Biewingo, E.E. (ur), *Proceedings of Conference on the Environmental Impact of Biomass for Energy*. May, 1997. CLM, Utrecht, The Netherlands: 69-70.
- Clifton-Brown, J.C. (1997) The Importance of Temperature in Controlling Leaf Growth of *Miscanthus* in Temperate Climates. *Unpublished PhD thesis*, University of Dublin, Ireland.
- Clifton-Brown, J.C. i Lewandowski, I. (2000) Overwintering problems of newly established *Miscanthus* plantations can be overcome by identifying genotypes with improved rhizome cold tolerance. *New Phytologist*, vol 148, no 2: 287-294.
- Clifton-Brown, J.C., Breuer, J. i Jones, M.B. (2007) Carbon mitigation by the energy crop. *Miscanthus*, *Global Change Biology*, vol 13, no 11: 2296-2307.
- Clifton-Brown, J.C., Lewandowski, I. et al (2001b) Performance of 15 *Miscanthus* genotypes at five sites in Europe. *Agronomy Journal*, vol 93: 1013-1019.

Literatura

- Clifton-Brown, J.C., Long, S.P., Jørgensen, U. (2001a) *Miscanthus* productivity. In: Jones, M. B. i Walsh, M. (ur), *Miscanthus for energy and fiber*. Eartscan London UK: 46-67.
- Clifton-Brown, J. C., Stampfl, P.F. i Jones, M.B. (2004) *Miscanthus* biomass production for energy in Europe and its potential contribution to decreasing fossil fuel carbon emissions. *Global Change Biology*, vol 10, no 4: 509-518.
- Dam J., Faaij A.P.C., Lewandowski I., Fischer G. (2007) Biomass production potentials in Central and Eastern Europe under different scenarios. *Biomass and Bioenergy*, 31: 345 - 366.
- Danalatos, N.G., Archontoulis, S.V., Mitsios, I. (2007) Potential growth and biomass productivity of *Miscanthus x giganteus* as affected by plant density and N-fertilization in central Greece. *Biomass and Bioenergy* 3, 2-3, 145-152.
- Danalatos, N.G., Dalianis, C., Kyristis, S. (1998) Influence of fertilisation and irrigation on the growth and biomass productivity of *Miscanthus sinensis x giganteus* under Greek conditions. Objavljeno u *Sustainable Agriculture for Food, Energy and Industry*, El Bassam, N., Behl, R.K. i Prochnow, B.(eds.), 319–323. London, UK: James & James, Science Publishers.
- Demirbas, A. (2009) *Biofuels – Securing the Planets Future Energy Needs*, Springer Verlag London.
- Demirbas, A. (2011). Competitive liquid biofuels from biomass. *Appl. Energ.* 88: 17-28.
- Direktiva 2009/28/EZ (2009). Direktiva o poticanju uporabe energije iz obnovljivih izvora te o izmjenama i dopunama i budućemu ukidanju Direktiva 2001/77/EZ i 2003/30/EZ. Europski parlament
- Dželetović, Ž. (2010) Uticaj azota i gustine nasada na morfološke osobine i prinos biomase vrste *Miscanthus x giganteus* Greef et Deu. *Doktorska disertacija*. Univerzitet u Beogradu. Poljoprivredni fakultet.
- Dželetović, Ž. (2012) Miskantus (*Miscanthus x giganteus* Greef et Deu.): proizvodne odlike i prinos biomase. Zadužbina Andrejević, Beograd, str. 23.
- Donlagić, M. (2005) *Energija i okolina*. Printcom – Tuzla, Bosna i Hercegovina.
- EEA - European Environment Agency (2009) *Bioenergy and biofuels: the big picture*, Handbook
- Eghbal, K. (1993) Ertragsleistung und Biomassequalitätät von *Miscanthus sinensis* als mölicher Energie- und Selluloserohstoff. *Zeitschrijf fuer Laborpraxis in Biologie und Landwirtschaft* 3: 44-47.
- EI-Bassam, N. (1996) Performance of C4 plant species as energy sources and their possible impact on environment and climate. In: Chartier, P., Ferrero, G.L., Henius, U.M., Hultberg, S., Sachau, J. i Wiinblad, M. (ur), *Biomass for Energy and the Enoinronment- Proceedings of the 9th European Bioenergy Corference*. 24-27 June 1996, Copenhagen, Denmark, Eisevier Science Ltd., Oxford, 1: 42-47.
- EI-Bassam, N., Dambroth, M. i Jachs, I. (1992) Die Nutzung von *Miscanthus senensis* als Energie- und Industriegrundstoff. *Landbauforschung Volkenrode*, 42: 199-205.
- El Bassam, N., Huisman, W. (2001) Harvesting and storage of *Miscanthus*. In: *Miscanthus for Energy and Fibre*, James and James, pp. 86–108.

Uzgoj i korištenje miskantusa (*Miscanthus* sp.)

- El-Bassam, N. (2010) Handbook of Bioenergy crops. A complete Reference to Species, Development and Applications. Earthscan, London Washington, DC:240-251
- Eppel-Hotz, A. i Jodl, S. (1997) Comparative faunistic examination in *Miscanthus* (*Miscanthus x giganteus*), corn (*Zea mays*) and reed (*Phragmites australis*) expanses. Summary of the study: Muschketat, L.F. i Otte, J. (1996) *Vergleichende faunistische Untersuchung in Beständen hochwüchsiger Sügräser (Poaceae)*, Unpublished.
- Eppel-Hotz, A., Jodl, S. i Kuhn, W. (1997) *Miscanthus*: new cultivars and results of research experiments for improving the establishment rate. In: El-Bassam, N., Behl, R.K. i Prochnow, B. (ur), *Proceedings of the International Conference on Sustainable Agriculture for Food, Energy and Industry. 23-27 June 1997*, Braunschweig, Germany: 178-186.
- Faaji, A. (2006). Modern biomass conversion technologies. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 11, 343-375.
- Fernando, R. (2012) Cofiring high ratios of biomass with coal. IEA Clean Coal Centre.
- Francescato, V. i Antonini, E. (2008) Priručnik o gorivima iz drvne biomase. REGEA Zagreb.
- Fritz, M. i Formowitz, B. (2010) Eignet sich *Miscanthus* als Biogassubstrat? Biogas Forum Bayern, Arbeitsgemeinschaft Landtechnik und landwirtschaftliches Bauwesen in Bayern e.V., Freising.
- Gosse, G. (1995) Environmental issues and biomass. In: Chartier, P., Ferrero, G.L., Henius, U.M., Hultberg, S., Sachau, J. and Wiinblad, M. (ur), *Biomass for Energy and the Environment- Proceedings of the 9th European Bioenergy Conference. 24-27 June 1996, Copenhagen, Denmark*. Elsevier Science Ltd., Oxford, 1: 52-62.
- Greef, J.M. (1994) Development of above and below ground organs in *Miscanthus x giganteus* in Northern Germany. In: Hennik, S., van Soest, L.J.M., Pillian, K. and Hof, L. (ur), *Alternative Oilseed and Fiber Crops for Cold Wet Regions of Europe*, European Commission, Luxembourg: 101-12.
- Greef, J.M. i Deuter, M. (1993) Syntaxonomy of *Miscanthus x giganteus*, *Angew. Bot.*, 67: 87-90.
- Green, D. (1991) The new North American garden. *The Garden*, Royal Horticultural Society, London, vol 116 (Part I), January: 18-22.
- Hamelinck, C.N. i Faaji, A.P.C. (2006) Outlook for advanced biofuels. *Energy Policy*. 34: 3268-3283.
- Hartmann, H. (1995) Environmental aspects of energy crop use - a system comparison. In: Chartier, Ph., Beenackers, A.A.C.M. i Grassi, G. (ur), *Biomass for Energy, Environment, Agriculture and Industry - Proceedings of 8th E. C. Conference. 3-5 October, 1994, Vienna, Austria*, Elsevier Science Ltd., Oxford, 3: 2250-2255.
- Herceg, N. (2013): Okoliš i održivi razvoj. Sveučilište u Mostaru. Mostar, Bosna i Hercegovina.
- Himken, M., Lammel, J., Neukirchen, D., Czypionka-Krause, U. i Olf, H-W. (1997) Cultivation of *Miscanthus* under West European conditions: seasonal changes in dry matter production, nutrient uptake and remobilization. *Plant and Soil*, 189: 117-126.
- Hirose, T., Miyazaki, A., Hashimoto, K., Yamamoto, Y., Yoshida, T. i Song, X.F. (2003) Specific differences in matter production and water purification efficiency in plants grown by the floating culture system. *Japanese Journal of Crop Science*, vol 72, no 4: 424-430.

- Hodkinson, T.R., Renvoize, S.A. i Chase, M.W. (1997) Systematics of *Miscanthus*. In: Bullard, M. J. i sur. (ur), *Biomass and Bioenergy Crops. Aspects of Applied Biology*, 49: 189-197.
- Hotz, A., Kolb, W. i Kuhn, W. (1993) Chinaschilf wächst nicht in den Himmel. *DLG-Mitteilungen/agrar-infom*: 50-53.
- Hotz, A., Kuhn, W. i Jodl, S. (1996) Screening of different *Miscanthus* cultivars in respect of their productivity and usability as a raw material for energy and industry. In: Chartier, P., Ferrero, G.L., Henius, U.M., Hultberg, S., Sachau, J. i Wiinblad, M. (ur), *Biomass for Energy and the Environment - Proceedings of the 9th European Bioenergy Conference. 24-27 June 1996, Copenhagen, Denmark*, Elsevier Science Ltd., Oxford, 1: 523-527.
- Hsu, F.H. (2000) Seed longevity of *Miscanthus* species. *Journal of Taiwan Livestock Research*, vol 33: 145-153
- Huggett, D.A. (1996) Potential aphid pests of the biomass crop *Miscanthus*. In: *Proceedings of Brighton Crop Protection Conference (Pests and Diseases)*, British Crop Protection Council, Farnham, Surrey: 427-428.
- Huisman, W. i Kortleve, W.J. (1994) Mechanisation of crop establishment, harvest and postharvest conservation of *Miscanthus Sinensis Giganteus*. *Industrial Crops and Products*, 2: 289-297.
- Iličković, Z. (2014) Biogoriva. Univerzitet u Tuzli Tehnološki fakultet, „IN SCAN“ d.o.o. – Tuzla.
- Janušić, V., Ćurić, D., Krička, T., Voća, N., Matin, A. (2008). Predtretmani u proizvodnji bioetanol iz lignocelulozne biomase. *Poljoprivreda*, 14 (1) , 53-58.
- Jodl, S., Hotz, A. i Christian, D.G. (1996) Nutrient demand and translocation processes of *Miscanthus x Giganteus*. In: Chartier, P., Ferrero, G.L., Henius, U.M., Hultberg, S., Sachau, J. i Wiinblad, M. (ur), *Biomass for Energy and the Environment-Proceedings of the 9th European Bioenergy Conference. 24-27 June 1996, Copenhagen, Denmark*, Elsevier Science Ltd., Oxford, 1: 517-522.
- Jones, M.B. i Walsh, M. (ur) (2001) *Miscanthus for energy and fiber*. Eartscan London, UK.
- Jørgensen, R.N. i Jørgensen, B.J. (1996) The effect of N₂O emission on the net CO₂-displacement by energy crop production. In: Chartier, P., Ferrero, G.L., Henius, U.M., Hultberg, S., Sachau, J. i Wiinblad, M. (ur), *Biomass for Energy and the Environment-Proceedings of the 9th European Bioenergy Conference. 24-27 June 1996, Copenhagen, Denmark*, Elsevier Science Ltd., Oxford, 3: 1701-1705.
- Jørgensen, U. (1995) Lowcost and safe establishment of *Miscanthus*. In: Chartier, Ph., Beenackers, A.A.C.M. i Grassi, G. (ur), *Biomass for Energy, Environment, Agriculture and Industry - Proceedings of 8th E. C. Conference. 3-5 October, 1994, Vienna, Austria*,
- Jørgensen, U. (1997) Genotypic variation in dry matter accumulation and content of N, K and Cl in *Miscanthus* in Denmark. *Biomass and Bioenergy*, 12: 155-169.
- Jørgensen, U. i Mortensen, J. (1997) Perennial crops for fibre and energy use as a tool for fulfilling the Danish strategies on improving surface and ground water quality. In: Olesen, S. E. (ur), *Alternative Use of Agricultural Land*, SP Report No. 18: 12-21.
- Jurišić, V. (2012) Optimization of high shear extrusion pretreatment of grass from genus *Miscanthus* as raw material in bioethanol production. *Doktorski rad*. Sveučilište u Zagrebu Prehrambeno-biotehnološki fakultet.

Uzgoj i korištenje miskantusa (*Miscanthus* sp.)

- Kaltschmitt, M., Reinhardt, G.A., Stelzer, T. (1996) LCA of biofuels under different environmental aspects. In: Chartier, P., Ferrero, G.L., Henius, U.M., Hultberg, S., Sachau, J. and Wiinblad, M. (ur), *Biomass for Energy and the Environment - Proceedings of the 9th European Bioenergy Conference*. 24-27 June 1996, Copenhagen, Denmark, Elsevier Science Ltd., Oxford, 1: 369-386.
- Khanna, M. (2015) Miscanthus-based ethanol boasts bigger environmental benefits, higher profits. *Biomass magazine*, 6. ožujka 2015. izvor: biomassmagazine.com
- Kheshgi, H.S., Prince, R.C., Marland, G. (2000) The potential of biomass fuels in the context of global climate change: focus on transportation fuels. *Annu. Rev. Energy Environ.* 25 (1):199-244.
- Kicherer, A., Görres, J., Spliethoff, H., Hein, K.R.G. (1995) Biomass co-combustion for the pollutant control in pulverized coal units. In: Chartier, Ph., Beenackers, A.A.C.M. i Grassi, G. (ur), *Biomass for Energy, Environment, Agriculture and Industry - Proceedings of 8th; E.C. Conference*. 3-5 October, 1994, Vienna, Austria, Elsevier Science Ltd., Oxford, 2: 926-935.
- Kiesel, A. i Lewandowski, I. (2014) Miscanthus as biogas substrate. Conference paper on the 23rd European Biomass Conference and Exhibition. DOI: 10.5071/22ndEUBCE2014-1BO.10.5
- Knoblauch, F., Tychsen, K., Kjeldsen, J.B. (1991) Miscanthus sinensis '*giganteus*' (*elefantgres*). Landbrug Grøn Viden 85. (English version: *Manual for Growing Miscanthus sinensis 'Giganteus*. Danish Research Service for Plant and Soil Science, Institute of Landscape Plants, Hornum, Denmark).
- Kolb, W., Hotz, A., Kuhn, W. (1990) Untersuchungen zur Leistungsfähigkeit aus-dauernder Gräser für die Energie- und Rohstoffgewinnung (Investigations relating to the productivity of perennial grasses for the production of energy and raw materials). *Rasen-Turf- Gazon*, Institute of Viticulture and Horticulture, Würzburg, vol 4: 75-79
- Koundinya, V. (2009) Corn stover. Agricultural marketing resource center. izvor: <http://www.agmrc.org/renewable-energy/corn-stover/>
- Kristensen E.F. (1996) Experiences from Miscanthus harvesting in Denmark. Rad prezentiran na IEA workshop, 14.-15. studenog, 1996.
- Labudović, B. (2002) Obnovljivi izvori energije. Zagreb, Energetika marketing.
- Lange, J.P. (2007) Lignocellulose conversion: an introduction to chemistry, process and economics. *Biofuels, Bioprod. Bioref.* 1: 39-48.
- Lebaka, V.R. (2013). Potential Bioresources as Future Sources of Biofuels Production: An Overview. U: *Biofuel Technologies* (ur. Gupta, V.K., Tuohy, M.G.), str. 223-258.
- Leto, J., Bilandžija, N. (2013) Rodnost energetske trave *Miscanthus x giganteus* u 1. godini na različitim lokacijama. *Zbornik radova s 48. hrvatskog i 8. međunarodnog simpozija agronoma*. S. Marić i Z. Lončarić (ur.). 17-22. veljače 2013. Dubrovnik, str. 515-519.
- Leto, J., Bilandžija, N., Bošnjak, K., Vranić, M., Stuburić, I. (2016) Uzgoj *Miscanthus x giganteus* Greef et Deu. u različitim agroekološkim uvjetima Hrvatske-četverogodišnje iskustvo. *Zbornik radova s 51. hrvatskog i 11. međunarodnog simpozija agronoma*. M. Pospišil (ur.). 15-18. veljače 2016. Opatija, str. 233-237.

Literatura

- Leto, J., Bilandžija, N., Hudek, K. (2015) Morfološka i gospodarska svojstva energetske trave *Miscanthus x giganteus* Greef et Deu. u 3. godini uzgoja. *Zbornik radova s 50. hrvatskog i 10. međunarodnog simpozija agronoma*. M. Pospišil (ur.). 16-20. veljače 2015. Opatija, str. 329-333.
- Leto, J., Bilandžija, N., Stojanović, L., Sever, M. (2014) Morfološka i gospodarska svojstva energetske trave *Miscanthus x giganteus* Greef et Deu. u 2. godini uzgoja. *Zbornik radova s 49. hrvatskog i 9. međunarodnog simpozija agronoma*. S. Marić i Z. Lončarić (ur.). 16-21. veljače 2014. Dubrovnik, str. 397-401.
- Lewandowski, I. i Kahnt, G. (1993) Tissue culture of *Miscanthus sinensis* - A potential for mass production? In: Hall, O.O., Grassi, G. i Scheer, H. (ur), *Biomass for Energy and Environment, Agriculture and Industry - Proceedings of 7th: E.C. Conference. 5-9 October 1992, Florence, Italy*, Ponte Press, Bochum, Germany: 696-699.
- Lewandowski, I. i Kahnt, G. (1994) Einfluß von Bestandesdichte und Stickstoff Düngung auf die Entwicklung, Nährstoffgehalte und Ertragsbildung von *Miscanthus 'Giganteus'*. *Mitt. Ges. Pflanzbauwiss*, 7: 341-343.
- Lewandowski, I., Clifton-Brown, J.C., Andersson, B., Basch, G., Christian, D.G., Jergensen, U., Jones, M.B., Riche, A.B., Schwarz, K.U., Tayebi, K. i Teixeira, F. (2003) Environment and harvest time affects the combustion qualities of *Miscanthus* genotypes. *Agronomy Journal*, vol 95: 1274-1280.
- Lewandowski, I., Kicherer, A., Vonier, P. (1995) CO₂-balance for the cultivation and combustion of *Miscanthus*. *Biomass and Bioenergy*, 8: 81-90.
- Linde-Laursen, I. (1993) Cytogenetic analysis of *Miscanthus 'Giganteus'*, an interspecific hybrid, *Hereditas*, 119: 297-300.
- Liu, L. (1989) Plant resources of Gramineae: *Triarrhena*. Unpublished manuscript. Long, S.P. (1983) C-4 photosynthesis at low-temperatures. *Plant Cell and Environment*, 6: 345-363.
- Long, S.P. (1999) Environmental responses. In: Sage, R.F. i Monson, R.K. (ur), *C₄ Plant Biology*. Academic Press, San Diego: 215-249.
- Long, S.P. i Beale, C.V. (2001) Resource capture by *Miscanthus*. In: Jones, M.B. i Walsh, M. (ur), *Miscanthus for energy and fiber*. Eartscan London UK: 10-20.
- Long, S.P. (1983) C-4 photosynthesis at low-temperatures. *Plant Cell and Environment* 6: 345-363.
- Ma, F.R., Hanna, M.A. (1999) Biodiesel production: A review. *Biores. Technol.* 70: 1-15.
- Maciejewska, A., Veringa, H., Sanders, J., Peteves, S.D. (2006) Co-firing of biomass with coal: Constraints and role of biomass pre-treatment. Institute for energy – The Netherlands.
- Manganelli, C. (2006) Prospects of energy production from biomass. *Industria Saccarifera Italiana* 99 (5), 119-132.
- McCarthy, S. i Mooney, M. (1995) European *Miscanthus* Network. In: Chartier, Ph., Beenackers, A.A.C.M. i Grassi, G. (ur), *Biomass for Energy, Environment, Agriculture and Industry - Proceedings of 8th E.C. Conference. 3-5 October, 1994, Vienna, Austria*, Elsevier Science Ltd., Oxford, 1: 380-388.
- Miguez, F.E., Villamil, M.B., Long, S.P., Bollero, G.A. (2008) Meta-analysis of the effects of management factors on *Miscanthus x giganteus* growth and biomass production. *Agricultural and Forest Meteorology* 148, 8-9, 1280-1292.

Uzgoj i korištenje miskantusa (*Miscanthus* sp.)

- Mitchell, C.P. (1995) Resource base. In: Chartier, Ph., Beenackers, A.A.C.M. i Grassi, G. (ur), *Biomass for Energy, Environment, Agriculture and Industry - Proceedings of 8th E. C. Conference. 3-5 October, 1994, Vienna, Austria*, Elsevier Science Ltd., Oxford, 1: 115-128.
- Monteith, J.L. (1977) Climate and the efficiency of crop production in Britain. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 281: 277-294.
- Monti, A. i Zatta, A. (2009) Root distribution and soil moisture retrieval in perennial and annual energy crops in Northern Italy. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 132, 3-4, 252-259.
- Mosier, N., Wyman, C., Dale, B., Elander, R., Lee, Y.Y., Holtzapfle, M., Ladisch, M. (2005) Features of promising technologies for pretreatment of lignocellulosic biomass. *Bioresour Technol.* 96: 673-686.
- NEP - Nacionalni energetski program (1998): Energetski institut „Hrvoje Požar“, Zagreb.
- Nie, G.Y., Long, S.P. i Baker, N.R. (1992) The effects of development at suboptimal growth temperatures on photosynthetic capacity and susceptibility to chilling-dependent photoinhibition in Zea-Mays. *Physiologia Plantarum*, 85: 554-560.
- Nolan, A., Donnell, K.M.C., Siurtain, M.M.C., Carroll, J.P., Finnan, J., Ricec, B. (2009) Conservation of miscanthus in bale form. *Biosystems engineering*, 104: 345 – 352.
- Numata, M. (ed) (1975) *Ecological Studies in Japanese Grasslands with Special Reference to the IBP Areas: Productivity of Terrestrial Communities*, Japanese Committee for the International Biological Program (IBP Synthesis), 13, University of Tokyo Press.
- Obernberger, I. i Thek, G. (2010) The Pellet Handbook – Teh Production and Thermal Utilization of Pellets. Bios Bioenergiesysteme GmbH.
- O'Neill, N.R. i Farr, D.F. (1996) *Miscanthus* Blight, a new foliar disease of ornamental grasses and sugarcane incited by *Leptosphaeria* sp. and its anamorphic state *Stagonospora* sp. *Plant Disease*, 80: 980-984.
- Palmarola-Adrados, B., Choteborská, P., Galbe, M., Zacchi, G. (2005) Ethanol production from non-starch carbohydrates of wheat bran. *Bioresour Technol.* 96(7): 843-850.
- Petersen, K. i Holme, I.M. (1994) Induction of callus and regeneration of plants from different tissues of *M. x ogifomes* 'Giganteus'. In: *Abstracts of the 8th International Congress of Plant Tissue and Cell Culture, Firenze, June 12-17*: 187.
- Ponearu, I.C., Voicu, G., Moiceanu, G., Voicu, P. (2012) Study regarding choosing the optimum rhizome planting equipment. *Proceedings of 40th Engineering „Actual Tasks on Agricultural Engineering“*, 40: 283-310.
- Ramey D., Yang S.T. (2004) Production of Butyric Acid and Butanol from Biomass. Final report. DOE.
- Retka Schill, S. (2007) *Miscanthus* versus switchgrass. Ethanol producer magazine. 3. listopada 2007. izvor: <http://www.ethanolproducer.com/>
- Rutherford, L. i Heath, M.C. (eds) (1992) *The Potential of Miscanthus as a Fuel Crop*, Energy Technology Support Unit (ETSU) B1354, Harwell, UK.
- Schwarz, H. (1993) Untersuchungen zu einer bedarfsgerechten Nährstoffversorgung und Optimierung weiterer steuerbarer Produktionsfaktoren bei *Miscanthus sinensis* 'Giganteus'. Dissertation der Universität für Bodenkultur, Wien, Austria.

- Schwarz, H. (1994) *Miscanthus sinensis* 'Giganteus' production on several sites in Austria. *Biomass and Bioenergy*, 5: 413-419.
- Schwarz, H. i Liebhard, P. (1995) Fertilization effects on production of *Miscanthus sinensis* 'Giganteus'. In: Chartier, Ph., Beenackers, A.A.C.M. i Grassi, G. (ur), *Biomass for Energy, Environment, Agriculture and Industry - Proceedings of 8th E.C. Conference*. 3-5 October, 1994, Vienna, Austria, Elsevier Science Ltd., Oxford, 1: 523-529.
- Schwarz, H., Liebhard, P., Ehrendorfer, K. i Ruckenbauer, P. (1994) The effect of fertilization on yield and quality of *Miscanthus sinensis* 'Giganteus'. *Industrial Crops and Products*, 2: 153-159.
- Schwarz, K.U., Greef, J. M. i Schnug, E. (1995) Untersuchungen zur establierung und biomassebildung von *Miscanthus giganteus* unter verschiedenen umweltbedingungen. *Landbauforschung Volkenrode Sonderheft*:155.
- Smeets E.M.W., Lewandowski I., Faaij A.P.C. (2009): The economical and environmental performance of miscanthus and switchgrass production and supply chains in a European setting. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13: 1230 – 1245.
- Sutor, P., Sturm, M., Horz, A., Kolb, W. i Kuhn, W. (1991) Anbau von *Miscanthus sinensis* "giganteus". *Bayerische Landesanstalt flir Bodenkultur und Pflanzenbau*. Technical University, Munich, 8/91: III 5-III 10.
- Taherzadeh, M.J., Karimi, K. (2008) Pretreatment of Lignocellulosic Wastes to Improve Ethanol and Biogas Production: A Review. *Int. J. Mol. Sci.* 9: 1621-1651.
- Tomić, F., Krička, T., Matić, S. (2008) Available agricultural surfaces and potentials for biofuels production in Croatia. *Šumarski list*, 7 – 8: 323 - 330.
- Tomić, F., Krička, T., Matić, S., Šimunić, I., Voća, N., Petošić, D. (2011) Potentials for biofuel production in Croatia, with respect to the provisions set out by the European Union. *Journal of enviromental protection and ecology*, 12: 1121 - 1131.
- TPNP - The Plant Names Project (1999) *International Plant Names Index*, published on the Internet, <http://www.ipni.org> (accessed 28 August, 2000).
- Unal, H. i Alibas, K. (2007) Agricultural Residues as Biomass Energy', Energy Sources, Part B. Economics, *Planning and Policy*, 2: 123 - 140.
- Van Loo, S. i Koppejan, J. (2008) *The handbook of biomass combustion and cofiring*. London – Sterling (VA), Earthscan. London, UK.
- Višković, A. (2009). Svijetlo ili mrak: Energetska sigurnost – političko pitanje. Lider press d.d. Zagreb, Hrvatska.
- Whittaker, C., Hunt, J., Misselbrook, T., Shield, I. (2016) How well does *Miscanthus* ensile for use in an anaerobic digestion plant? *Biomass and Bioenergy*, 88: 24–34.
- Wiesler, F., Dickmann, J., Horst, W.J. (1997) Effects of nitrogen supply on growth and nitrogen uptake by *Miscanthus sinensis* during establishment, *Zeitschrift für Pflanzenernahrung und Bodenkunde*. 160: 25-31.
- Wilkins, C. i Redstone, S. (1996) Biomass production for energy and industry in the far south west of England. In: Chartier, P., Ferrero, G.L., Henius, U.M., Hultberg, S., Sachau, J. and Winblad, M. (ur), *Biomass for Energy and the Environment - Proceedings of the 9th European Bioenergy Conference*. 24-27 June 1996, Copenhagen, Denmark, Elsevier Science Ltd., Oxford, 1: 799-805.

Uzgoj i korištenje miskantusa (*Miscanthus* sp.)

- Xi, Q. (2000) Investigation on the distribution and potential of giant grasses in China. PhD dissertation, University of Kiel, Cuvillier Verlag, Goettingen.
- Xi, Q.G. (2008) Description of an Introduced Plant *Miscanthus x giganteus* Greef et Deu. *Pratacultural Science* 2 (in Chinese with English abstract).
- Yamasaki, S. (1981) Effect of water level on the development of rhizomes of three hygrophytes. *Japanese Journal of Ecology*, vol. 31: 353-359.
- Yamashita, S., Nonaka, N., Doi, Y. i Yora, K. (1985) *Miscanthus* streak virus, ageminivirus in *Miscanthus sacchariflorus* Benth et Hook. *Annals of the Phytopathological Society of Japan*, 5: 582-590.
- Yang, B., Wyman, C.E. (2008) Pretreatment: the key to unlocking low-cost cellulosic ethanol. (A review article). *Biofuels, Bioprod. Bioref.* 2: 26-40.

Kazalo pojmova

A

agrotehnika 33

B

biogoriva 2. generacije 8
biološka svojstva 20
biokemijska pretvorba 86
biomasa 6
bioplin 72, 86
bioraznolikost 60
bolesti 52
briketi 78
butanol 88, 93

C

celuloza 10
cvat 17

D

datum žetve 55, 62
dijelovi stabljike 39
duboko oranje 33
dubina sadnje 35, 36, 38
dušik 45, 47
dužina rizoma 35

E

ekološki zahtjevi 24
ekonomska analiza 99
energetske karakteristike 82
etanol 88, 92

F

fosfor 47
fotosintetski kapacitet 27

G

gnojidba 44
gubici prinosa 62

H

hemiceluloza 10
herbicidi 49

I

investicijske kalkulacije 99, 100
isplativost 93
iznošenje hraniva 47
izravno izgaranje 76

J

jednofazne tehnike žetve 67

K

kalij 47
kogeneracija 76
korijen 14
korovi 48
košnja 54
kruta biogoriva 74
kultura tkiva 37

L

letalna temperatura 25
list 16
lignin 10
lignoceluloza 89, 91

M

mikropropagacija 37
Miscanthus sacchariflorus (Maxim.) 12, 25, 27, 30, 34, 54
Miscanthus sinensis Anderss 13, 25, 27, 30, 35, 54
Miscanthus x giganteus Greef et Deu. 11, 14, 25, 27, 34, 35, 45, 54, 82
mehanizacija 63
morfološke karakteristike 12

Uzgoj i korištenje miskantusa (*Miscanthus* sp.)

N

navodnjavanje 28
nicanje 20
nitrati 59

O

obrada tla 33
ogrjevna vrijednost 71, 81, 84
oprema za sadnju 40

P

pelet 78
piroliza 86, 94
podanci 35
podrijetlo 11
polijeganje 32
pokriće varijabilnih troškova 103
prezimljavanje 25, 35, 43
prešanje 54
prijesadnice 36, 38
prinos 26, 54

R

rast 21
razmak sadnje 36
rizomi 14, 30, 35
rokovi sadnje 40
rokovi žetve 55, 62

S

sadni materijali 34
sadilice 40
silaža 72
sjeme 34
skladištenje biomase 69
skladištenje rizoma 35

stabljika 15
staklenički plinovi 58, 76, 81, 92
stopa rasta 21
suižgaranje 76
sušenje 69

Š

štetočinje 53

T

taksonomija 11
tekuća biogoriva 85, 95
temperature 24, 26
termokemijski procesi 86
termokemijsko uplinjavanje 86, 94
tlo 29
translokacija hraniva 45, 59, 62

U

utjecaj na okoliš 57

V

vegetacijska sezona 25, 26
vegetativno razmnožavanje 34
višefazne tehnike žetve 63
vjetar 32
voda 27

Z

zasnivanje usjeva 33

Ž

žetva 62
žetvene tehnike 63

—





— S —
OPTIMUM®
AQUAMAX®
HIBRIDIMA



Vrijeme

VIŠE

NIJE RIZIK



Poljoprivreda ovisi o mnogobrojnim nepredvidljivim čimbenicima. Vrijeme više nije jedan od njih. S Optimum® AQUAmax® hibridima nije važno je li godina vlažna ili je suša, Vaša će polja imati postojano visok prinos.

Optimum®
AQUAmax®

Proizvodni program Bc Instituta

BC HIBRIDI KUKURUZA		BC SORTE STRNIH ŽITARICA	KRMNO BILJE
BC191	FA0100	Sorte ozime pšenice	Lucerna
BC244	FA0200	BC Anica	Mirna
BC282		Bc Mandica	Posavina
Alibi	NOVO!	BC Darija	Crvena djetelina
Thriller		BC Lorena	Nada
BC306		BC Opsesija	Talijanski ljulj
BC344		BC Tena	Mir
BC354	FA0300	BC Bernarda	Engleski ljulj
Kekec		Mihelca	Šampion
Pajdaš	NOVO!	Prima	Vlasulja livadna
BC406		BC Renata	Zelena dolina
BC408B		Ozimi tritikale	Vlasulja nacrvena
BC418B		BC Goran	Korana
BC424	FA0400	BC Ranko	Vlasulja trstikasta
BC462		Ozimi ječam	B-18
Jumbo 48	NOVO!	BC Bosut	Klupčasta oštrica
Mejaš		BC Vedran	B-15
BC525		Favorit	Mačji repak
Klipan		Ozima zob	B-10
BC532	FA0500	BC Marta	Ozimi stočni grašak
BC572		Ozimi pravi pir	Maksimirski rani
BC5982		BC Vigor	Ozimi šampion
BC574		Jari ječam	Djetelinsko travne smjese (DTS)
BC582	FA0600	BC Alarik	Košni tip
Riđan		BC Kalnik	Pašni tip
Dugi		Erih	Kombinirani tip
BC678	NOVO!	Jara zob	SORTE SOJE
BC6661		Kupa	Buga (00/0)
BC38W (bijelo zrno)	FA0700	Baranja	Zlata (0)
BC413p.c.(kokičar)	FA0300	Istra	Pedro (0-1)
BC513p.c. (kokičar)	FA0400	Jara pšenica	Ascasubi (1)
Superslatki (šećerac)	FA0200	Goranka	Bahia (0-1)
Osman (pečenjak)			



Bc Institut d.d., Rugvica, Dugoselska 7,
10370 Dugo Selo, Hrvatska
Komerijala: Tel.: +385 1 27 81 500, +385 1 27 81 520
Fax: +385 1 48 54 080
bc-uprava@bc-institut.hr, www.bc-institut.hr

120 
godina s Vama!

