



UDK: 631.147, 633.2

## ЖЕТВА И СКЛАДИШТЕЊЕ *Miscanthus×giganteus* Greef et Deu.

Жељко Целетовић<sup>1</sup>, Невена Михаиловић<sup>1</sup>, Ђорђе Гламочлија<sup>2</sup>,  
Гордана Дражић<sup>3</sup>, Снежана Ђорђевић<sup>2</sup>, Мирјана Миловановић<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ИНЕП – Институт за примену нуклеарне енергије, Земун

<sup>2</sup>Пољопривредни факултет, Земун

<sup>3</sup>Факултет за примењену екологију "Футура", Београд

\*dzeletovic@inep.co.rs

**Садржај:** Мискантус (*Miscanthus×giganteus* Greef et Deu.) представља нов вишегодишњи усев за производњу биомасе, који се специфично узгаја и користи као енергетска сировина за сагоревање у котловским постројењима. Крајем септембра усев мискантуса образује максималну биомасу надземног дела. Преласком у фазу зимског мировања (од краја октобра до почетка априла) садржај влаге у усеву се постепено смањује сушењем стабала и листова. Померањем времена жетве на период: крај децембра до крај марта, укупна биомаса мискантуса се смањује, због опадања листова и врхова стабала, али услед мањег садржаја воде ( $\leq 30\%$ ) и мање количине азотних материја ( $< 0,7\%$ ) добијена биомаса је квалитетнија за сагоревање. За извођење жетве кошењем надземних делова усева и његовим балирањем, неопходно само неколико дана без падавина и снежног покривача, због кретања жетвене механизације по површини терена. За дуготрајно складиштење потребно је веома растресито слагање бала.

**Кључне речи:** мискантус, одложена жетва, квалитет пожњевене биомасе, складиштење мискантуса.

### УВОД

Мискантус или кинеска шаш (*Miscanthus×giganteus* Greef et Deu.) представља нов вишегодишњи усев за производњу биомасе, који се специфично узгаја [24] и користи као енергетска сировина (тзв. „биоенергетски усев“) за сагоревање у котловским постројењима. Сагоревањем биомасе пружа се могућност снижавања емисија гаса стаклене баште - CO<sub>2</sub>.

Мискантус производи нов надземни део сваке године, из дорматног зимског ризома, када температуре земљишта достигну 10-12°C. Из земљишта ниче током априла, а надземни делови развијају се усправно, чврстих стабала, пречника 5-15 cm, које досежу 1-2,5 м у висину. Стабла имају изглед сличан бамбусовим штаповима, не гранају се и садрже чврсто језгро. Жетва се изводи сваке године кошењем и балирањем целокупног надземног дела. Овај вегетативни циклус се понавља 15-20 година.

### ВРЕМЕ ЖЕТВЕ

Мискантус се жање једном годишње, будући да учестало кошење претерано исцрпљује ризоми и убија састојину. У тренутку максималног биолошког приноса усев је зелен, а проценат влаге висок. Одлагањем жетве након тог тренутка побољшава се квалитет биомасе за сагоревање смањењем садржаја влаге и нежељених компоненти у биомаси [13], али јављају се губици у биомаси, услед отпадања лишћа и полагања усева [15], те стога одлучивање о датуму жетве представља компромис између приноса који је могуће пожњети и његовог квалитета. Поред тога, оптимални датуми жетве могу варирати између региона у зависности од временских прилика [13].

Жетвени рокови код производње *M. giganteus* су ограничени на период од првих мразева у јесен, до тренутка поновног раста у пролеће. Време жетве зависи од локалних услова, а изводи се између новембра и априла. Померање времена жетве од јесени до почетка пролећа у наредној години снижава жетвене приносе, али повећава квалитет сагоревања снижавањем садржаја влаге, пепела, хлора и азота у свим мискантусовим генотиповима [23]. Одлагање времена жетве има најизраженији утицај на локацијма на којима постоји велики потенцијал приноса суве биомасе [16]. Ради дужег жетвеног периода, усев може бити пожњевен влажан, а затим вештачки сушен или силиран [20]. Из економских разлога касна жетва, при садржају влаге нижем од 30%, се препоручује, због цене жетве и цене сушења биомасе, које се повећавају са садржајем влаге у мискантусу [22].

У централној Европи мискантус се жање у рано пролеће, због сушења стабала у току зиме, а део пепела и нежељених компоненти у биомаси, попут: N, K, S и Cl, се испирају таложењем или транслоцирају у ризоми, чиме се битно побољшава квалитет сагоревања [9,13,15]. У Немачкој и Холандији садржај влаге се смањује са 70% (на бази масе свежег узорка) у новембру, на 20% и мање у марту или априлу [11,20]. У зависности од услова влажности, најсувљи се редовно добија у пролеће.

Померање жетве доводи до губитака у биомаси, услед губитка листова и опадања врхова стабала. Према Kath-Petersen [11], стварни жетвени губици износе око 25%, док стрњиште представља губитак од 17%. У Данској померање жетве до почетка фебруара снижава садржај влаге са 63% у октобру, на 29%, а просечно снижење приноса износило је 34% [10]. Садржаји калијума, хлора и пепела су значајно нижи са померањем жетве, док су садржаји азота и сумпора само незнатно снижени.

Beuch et al. [1], пак, процењују да је само око 50% годишње произведене надземне биомасе је подесно за жетву, због преджетвених губитака и жетвених остатака. У току зиме, највећи део листова и неодревљених вршних делова стабла

мискантуса отпадне. Ниво ових губитака је у опсегу од 3-25% у децембру, до 15-25% у марту [11]. Губитак листова током зиме мења квалитет жетвене биомасе, будући да листови садрже веће количине хранива, попут N и K [6]. Зимски губици мртвог и отпалог лишћа и горњих делова стабала могу узроковати снижавање приноса од 30-50% суве материје [8]. У Холандији губици у периоду од 1. октобра до марта износе између 29 и 42% (просечно 35,5%), а то веома много варира у зависности од временских услова у појединим годинама и између локација на којима се мискантус гаји [14].

Gezan and Riche [4] су максимум биомасе установили око 5. октобра и он од тог тренутка опада по стопи од 31,1 кг ха<sup>-1</sup> на дан. Они претпостављају да је смањење изазвано респирацијом, деградацијом и опадањем лишћа. Највећи део губитка приноса је због губитка лисног материјала, који образује густ слој лисне стеље испод сазрелог усева. Слој лисне стеље код мискантуса спречава раста корова и свакако игра значајну улогу у рециклирању хранива [4].

Рана жетва мискантуса максимизира енергетски принос и примарно енергетско сакупљање по хектару, а касна жетва их снижава. Наиме, резултати пољских огледа у Немачкој показују енергетски принос од 187-528 GJ ха<sup>-1</sup> пожњевеног мискантуса у децембру [15]. Ови биоенергетски приноси са одлагањем жетве опадају за 14-15% између децембра и фебруара и даље за 13% између фебруара и марта. Ово је повезано са значајним смањењем садржаја воде и смањењем садржаја пепела, азота, хлора и сумпора у биомаси [15].



Слика 1.

Према резултатима наших истраживања, у агроеколошким условима северне Шумадије (Раља код Космаја) максималну биомасу мискантус образује током септембра (слика 1). У укупној маси пожњевеног надзеног дела садржаји N, P, и K, као и садржај воде, практично већ крајем децембра достижу минималне вредности [25]. Одлагањем жетве на крај децембра у наведеним агроеколошким условима може се обезбедити потребан квалитет биомасе мискантуса за сагоревање. За извођење жетве од краја децембра до почетка априла неопходно само неколико дана без падавина и снежног покривача да би жетва могла да се изведе (због кретања жетвене механизације по површини терена) [25]. При том, динамика смањења жетвене биомасе мискантуса током јесени и зиме 2008/2009 (слика 2) идентична је моделу смањења жетвене биомасе мискантуса у Холандији, који су навели Lewandowski et al. [14].



Слика 2.

### НАЧИНИ ЖЕТВЕ

Жетва мискантуса може бити извршена постојећом механизацијом за кошење и балирање (слика 3) за одређене примене: као грађевински материјал, за енергетско коришћење и за коришћење за производњу папирне пулпе. За коришћење мискантуса као специјалног грађевинског материјала и геотекстила цела стабла су захтевана и неопходне су машине за кошење и везивање у свежење целих стабала.



Слика 3. Кошење и балирање мискантуса

За правилно изведену жетву на већим површинама, пољопривредну механизацију треба прилагодити на уобичајену висину мискантуса (2,0-3,5 м) и крутост (чврстину) усева мискантуса [2]. Стандардна пољопривредна механизација за кошење житарица или за кошење траве не ради добро са високим, крутим стаблима мискантуса, иако косачице са ротационим дисковима могу да се адаптирају за ову радну операцију. Биљке мискантуса су толерантне на ниску висину кошења.

Вишефазне жетвене методе обухватају: кошење, окретање откоса, скупљање и балирање, са или без збијања бала. Вишефазне методе дозвољавају сушење усева у откосима, које је брже од сушења усправног усева, због високе влажности микроклиме у приземном нивоу. Усев се прво сече косачицом. Кошењем се пресецају чврста стабла, омогућава убрзан губитак влаге, обезбеђује осветљеност.

То омогућава лакше балирање, помаже сушење материјала повећањем спољне површине и повећањем циркулације ваздуха у покошеном мискантусу.

У једнофазним жетвеним методама кретање и каснији третмани су комбиновани у једној машини. Овим се штеди на времену рада и на губицима који настају код сакупљања и паковања. Под нормалним земљишним условима вишеструки пролази пољопривредном механизацијом неће снизити приносе због збијања земљишта, јер је контактни притисак пнеуматика мањи од 2 бара (200 кПа) [11].

Балирање мискантуса (слика 3) је могуће коришћењем различитих типова уређаја за балирање, који производе различите бале (правоугаоне, округле и копатно увалане), одговарајуће за различите захтеве сагоревања у котловима. Густина суве материје у округлим балама треба да износи око 130 кг м<sup>-3</sup>, а правоугаоних великих бала око 150 кг м<sup>-3</sup> [3]. Коришћење самоходних уређаја за балирање (енгл. *self-propelled baling*) је најјевтинија опција, док су кошење и збијање након одлагања атрактивна опција, будући да је омогућено сушење, а транспортни трошкови су нижи [3].

Кошење може бити изведено и са силажним комбајнима. Густина у силажном складишту зависи од дужине одсецака. Са дужином од 11 мм густина суве материје је 95 кг м<sup>-3</sup>, а са дужином од 44 мм – 70 кг м<sup>-3</sup>. Механичким збијањем густина се може повећати до 130 кг м<sup>-3</sup>. Уситњен мискантус се може даље збијати, уколико је потребно. На пример, стационарни папир-рециклирајући уређај за балирање даје густину од 265 кг м<sup>-3</sup> [21]. У тестовима са прототипом мобилног пелетирајућег уређаја за биљну биомасу добијена је густина од 350 до 500 кг м<sup>-3</sup> [19].

### СКЛАДИШТЕЊЕ БАЛА

Стандардне методе за сламу или сено могу се користити за прикупљање и руковање балама мискантуса код транспорта и складиштења. Међутим, облик мискантусових бала тежи да буде округлији и неправилан [14]. За руковање исеченим материјалом методе сличне оним за силажни кукуруз могу бити примењене. За дуготрајно суво складиштење садржај воде треба да буде 15% или нижи [20]. Са вишим садржајима воде може се развити плесан, мада одређени степен природне вентилације може спречити њену појаву, све до садржаја воде од 25%. Спонтано samozапалење у складишту може се контролисати под условом да је омогућена вентилација, будући да је отпор протоку ваздуха и у балама и у свежњевима исецканог материјала низак [18].

Складиште може бити у наткривеном простору (простор са кровном конструкцијом), под цирадом или под пластичним прекривачем. Складиштење под кровом захтева велико инвестирање, али ће зато смањити радну површину и омогућити контролisanje прекривног слоја, онемогућити прокишњавање и услед тога губитке квалитета и квантитета. Непокривене бале на пољу добијају влагу, што доводи до кварења квалитета материјала, док бале које су покривене након одлагања на пољу губе влагу (просечно 8%), као и бале одлагане унутар наткривеног простора (просечно 11% воде) [17]. Бале мискантуса морају се држати покривене, било унутра, било напољу, уз употребу пластике или непромочивог платна, да би се спречило кварење бала и омогућило сушење [17].

## СУШЕЊЕ БАЛА

Venturi et al. [3] су закључили да је безбедно складиштење мискантуса могуће после сушења производа до 15% влаге у пољу или у вентилисаном складишту. Уколико потпуно сушење у пољу није могуће, допунско сушење ће бити потребно одмах након жетве (уколико садржај влаге премашује 25%), или у току складиштења (уколико је садржај влаге до 25%), ако постоји вентилација. При садржају влаге изнад 25%, може доћи до самозагревања ускладиштеног материјала, са ризиком од самозапаљења у одсуству вентилације [5]. При том, бале са мањом густином ( $<250 \text{ kg m}^{-3}$ ) могу се складиштити без бојазни од самозагревања [5,18]. Самозагревању подлежу бале са већим густинама и са ограниченим протоком ваздуха.

У природно вентилисаној гомили покошеног мискантуса у Данској, Kristensen [12] је установио да када се покошени мискантус, са садржајем влаге од 59% проветрава (вентилише) са  $21.500 \text{ m}^3 \text{ час}^{-1}$  амбијенталним ваздухом, садржај влаге ће опасти на 17,5% после 91 час. Уколико нема самозагревања, губици ће бити умерени. Task and Kirschbaum [18] извештавају о губитку 4-6% у тесту, у којем су бале са влажношћу од 50% вентилисане са незагрејаним ваздухом и температурама биомасе испод  $20^\circ\text{C}$ . У Холандији, бале са садржајем влаге око 25% се складиште у стоговима (сена) у пољу, прекривеним церадом, са доста простора између бала (веома растресито слагање бала). Након једног лета и зиме садржај влаге ће пасти на око 12%. Цена сушења са вентилисаним амбијенталним ваздухом је релативно ниска, до 15 евра по тони суве материје за материјал пожњевен у јануару [7].

## СИЛАЖА

Мискантус може бити ускладиштен под анаеробним условима, тј. затварањем гомиле исеченог материјала под пластични прекривач. Количина шећера у биомаси, за каснију производњу довољна је за синтезу млечне киселине која ће сузбити највећи део микробиолошке активности [20]. Према резултатима наших истраживања, око 80% биомасе представљају угљени хидрати, од чега је заступљеност целулозе  $\geq 32\%$ . Садржај протеина у биомаси износи  $\leq 0.05\%$ , а масти  $\sim 1\%$ .

За силажу мискантуса најбоље би било уклонити вишак ваздуха, уколико је могуће, збијањем пре прекривања новим количинама, нпр. преласком трактора преко њега. Уколико је садржај влаге у материјалу 60% вредност рН ће се смањити за 2 недеље на 4.2. Са нижим садржајем влаге рН ће остати виша, али ће конзервисање гомиле бити ефикасније. Без инокулације са бактеријама, које се захтева у пракси, методологија је веома слична силирању исецканог кукуруза. Силажа бала херметички затворених пластичним прекривачем је тешко остварљива због веома јаке постојаности стабала мискантуса. Уколико се користи за сагоревање, садржај влаге се може снизити сушењем са сувишном топлотом из постројења за сагоревање. Може се користити и сабијање пресом, чиме се остварује смањење влаге од 55 до 40%. Минерални садржај се, такође, смањује овим процесом [14].

Овај рад је урађен у оквиру пројеката Министарства за науку и технолошки развој Републике Србије, НПЕЕ 263003А (Еколошке основе развоја технологије гајења високопродуктивне биљке *Muscantus × gurganteus*, као основе новог биоенергетског горива) и НПБА 20208 (Биорационално коришћење и екоремедијација земљишта гајењем биљака за индустријску прераду). Аутори захваљују Министарству на подршци.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Beuch S, Boelcke B, Belau L (2000): Effect of the Organic Residues of *Miscanthus×giganteus* on the Soil Organic Matter Level of Arable Soils. *Journal of Agronomy and Crop Science*, Vol. 184, No. 2: 111-120.
- [2] Venturi P, Huisman W (1998): Modelling the optimization of primary production costs of miscanthus. In: *Biomass for Energy and Industry* (Eds. Kopetz H, Weber T, Palz W, Chartier P and Ferrero GL, Proceedings of the 10<sup>th</sup> European Conference, Würzburg, Germany, 8–11 June 1998. Rimpf, Germany), C.A.R.M.E.N., p. 806-809.
- [3] Venturi P, Huisman W, Molenaar J (1998): Mechanization and Costs of Primary Production Chains for *Miscanthus×giganteus* in The Netherlands. *Journal of Agricultural Engineering Research*, Vol. 69, No. 3: 209-215.
- [4] Gezan SA, Riche AB (2008): Over-winter yield decline in Switchgrass and Miscanthus. *Aspects of Applied Biology*, Vol. 90: *Biomass and energy crops III* (Eds: E. Booth, M. Green, A. Karp, I. Shield, D. Stock and D. Turley, AAB conference, 10-12 December 2008., Sand Hutton, UK), pp. 219–223.
- [5] El Bassam N, Huisman W (2001): Harvesting and Storage of Miscanthus. In: *Miscanthus for energy and fibre* (Eds MB Jones and M Walsh), James & James, London, pp. 86-108.
- [6] Jacks-Sterrenberg I (1995): *Untersuchungen zur Ertragsphysiologie von Miscanthus sinensis Anderss. hinsichtlich einer Verwendung als Energiepflanze*. Dissertation. Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung I der Justus-Liebig-Universität zu Gießen. 115pp.
- [7] Jonkanski F (1994): Miscanthus - the future biomass crop for energy and industry. In: *Biomass for energy, environment, agriculture and industry* (Eds. Chartier P, Beenackers AACM, Grassi G, Proceedings of the Eighth European Biomass Conference, 3-5 October 1994., Vienna, Austria), Pergamon, Oxford, p. 372-379.
- [8] Jørgensen U (1997): Genotypic variation in dry matter accumulation and content of N, K, and Cl in *Miscanthus* in Denmark. *Biomass and Bioenergy*, Vol. 12, No. 3: 155-169.
- [9] Jørgensen U, Sander B (1997): Biomass requirements for power production: how to optimise the quality by agricultural management. *Biomass and Bioenergy*, Vol. 12, No. 3: 145–147.
- [10] Jørgensen U, Mortensen J, Bonderup Kjeldsen J, Schwarz K-U (2003): Establishment, Development and Yield Quality of Fifteen Miscanthus Genotypes over Three Years in Denmark. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B – Plant and Soil Science*, Vol. 53, No. 4: 190-199.
- [11] Kath-Petersen W (1994): *Leistungsfähige und bodenschonende Erntetechnik für Miscanthus*. Dissertation. Institut für Agrartechnik, Christian-Albrecht-Universität, Kiel, 249pp.
- [12] Kristensen EF (1995): Miscanthus. Harvesting technique and combustion of *Miscanthus sinensis* „*Giganteus*“ in farm heating plants. In: *Biomass for energy, environment, agriculture and industry* (Eds. Chartier P, Beenackers AACM, Grassi G, Proceedings of the Eighth European Biomass Conference, 3-5 October 1994., Vienna, Austria), Pergamon, Oxford, p. 546-555.
- [13] Lewandowski I, Kicherer A (1997): Combustion quality of biomass: practical relevance and experiments to modify the biomass quality of *Miscanthus×giganteus*. *European Journal of Agronomy*, Vol. 6, No. 3-4: 163-177.
- [14] Lewandowski I, Clifton-Brown JC, Scurlock JMO, Huisman W (2000): Miscanthus: European experience with a novel energy crop. *Biomass and Bioenergy*, Vol. 19, No. 4: 209–227.
- [15] Lewandowski I, Heinz A (2003): Delayed harvest of miscanthus - influences on biomass quantity and quality and environmental impacts of energy production. *European Journal of Agronomy*, Vol. 19, No. 1: 45-63.
- [16] Miguez FE, Villamil MB, Long SP, Bollero GA (2008): Meta-analysis of the effects of management factors on *Miscanthus×giganteus* growth and biomass production. *Agricultural and Forest Meteorology*, Vol. 148, No. 8-9: 1280–1292.
- [17] Nolan A, McDonnell K, McSiurtain M, Carroll JP, Finnan J, Rice B (2008): Conservation *Miscanthus sinensis* × *giganteus* in bale form. *Aspects of Applied Biology*, Vol. 90: *Biomass and energy crops III* (Eds: E. Booth, M. Green, A. Karp, I. Shield, D. Stock and D. Turley, AAB conference, 10-12 December 2008., Sand Hutton, UK), pp. 255-262.

- [18] Tack F, Kirschbaum HG (1995): Verfahren und Technik der Lagerung von *Miscanthus*. In: *Symposium Miscanthus - Biomassebereitstellung, energetische und stoffliche Nutzung, Dresden, 1994. Schriftenreihe „Nachwachsende Rohstoffe“*. Vol. 4. Münster, Germany: Landwirtschaftsverlag, p. 129-141.
- [19] Hartmann H (1997): *Analyse und Bewertung der Systeme zur Hochdruckverdichtung von Halmgut*. Gelbes Heft 60. Institut und Bayerische Landesanstalt für Landtechnik der Technische Universität München-Weihenstephan, 63pp.
- [20] Huisman W, Kortleve WJ (1994): Mechanization of crop establishment, harvest, and post harvest conservation of *Miscanthus sinensis* "Giganteus". *Industrial Crops and Products*, Vol. 2, No. 4: 289-297.
- [21] Huisman W, Venturi P, Molenaar J (1997): Costs of supply chains of *Miscanthus giganteus*. *Industrial Crops and Products*, Vol. 6, No. 3-4: 353-366.
- [22] Huisman W (1998): Harvesting and Handling of PRG Crops. In: *Production and use of perennial rhizomatous grasses (PRG) in the energy and industrial sector of Europe* (Ed. Lewandowski I), Institut für Pflanzenbau und Grünland, Stuttgart, p. 42-47.
- [23] Clifton-Brown JC, Lewandowski I (2002): Screening *Miscanthus* genotypes in field trials to optimise biomass yield and quality in southern Germany. *European Journal of Agronomy*, Vol. 16, No. 2: 97-110.
- [24] Целетовић Ж, Дражић Г, Благојевић С, Михаиловић Н (2006): Специфични агротехнички услови гајења мискантуса. *Пољопривредна техника*, Г. 31, бр.4: 107-115.
- [25] Целетовић Ж, Михаиловић Н, Гламочлија Ђ, Дражић Г (2009): Одложена жетва *Miscanthus×giganteus* – утицај на квалитет и количину образоване биомасе. *ПТЕП – часопис за процесну технику и енергетику у пољопривреди*, Вол. 13, бр. 2: 170-173.

#### HARVESTING AND STORAGE OF *Miscanthus×giganteus* Greef and Deu.

Željko Dželetović<sup>1\*</sup>, Nevena Mihailović<sup>1</sup>, Djordje Glamočlija<sup>2</sup>,  
Gordana Dražić<sup>3</sup>, Snežana Djordjević<sup>2</sup>, Mirjana Milovanović<sup>2</sup>

<sup>1</sup>INEP – Institute for the Application of Nuclear Energy, Zemun, Serbia

<sup>2</sup>Faculty of Agriculture, Belgrade-Zemun, Serbia

<sup>3</sup>Faculty for Applied Ecology „Futura“, Belgrade, Serbia.

\*zdzeletovic@inep.co.rs

**Abstract:** *Miscanthus (Miscanthus×giganteus* Greef et Deu.) represents a new perennial crop for biomass production, grown and used specifically as energy source (i.e. „bioenergy crop“) for combustion in boiler systems. At the end of September, miscanthus crops form maximal biomass of aboveground parts. With the transition to winter dormancy (since the end of October till the beginning of April) water content in the crop is gradually decreased by stem dessication. With the shifting of harvest time to the interval: end of December – end of March, overall miscanthus biomass is decreased, due to defoliation and falling-off of stem tops, but, because of decreased water content ( $\leq 30\%$ ) and the content of nitrogen compounds ( $< 0,7\%$ ) the obtained biomass is more convenient for combustion. For harvesting and baling of aboveground parts, only few days without precipitation and snow cover are sufficient, which is necessary for the operation of machines. For long-term storage, very loose piling of bales is necessary.

**Key words:** *miscanthus, postponed harvest, harvested biomass quality, miscanthus storage.*