

## Tehnike žetve poljoprivrednih energetske kultura

### Sažetak

Pod klasifikacijom poljoprivredne biomase ubraja se i biomasa dobivena uzgojem brzorastućih energetskih kultura. Kako bi sama proizvodnja energetskih kultura bila što učinkovitija, posebni naglasak treba usmjeriti na poljoprivrednu tehniku tijekom žetve biomase. Cilj ovog rada je dati pregled važnijih višegodišnjih poljoprivrednih energetskih kultura te mogućnosti provođenja njihove mehanizirane žetve. Žetva biomase se može podijeliti temeljem dvije tehnike, i to na višefaznu i jednofaznu. Sama košnja se provodi kosilicama sa rotodaračima, rotacijskim kosilicama s bubnjevima, oscilirajućim kosilicama, rotacijskim kosilicama s tanjurima, samokretnim windrowerom te samokretnim krmnim kombajnima. U odnosu na tehniku provođenja žetve potrebno je osigurati i poljoprivrednu mehanizaciju za formiranje zbojeva, prešanje te manipulaciju biomase.

**Ključne riječi:** energetske kulture, biomasa, tehnike žetve, mehanizacija

### Uvod

Biomasa se prema Direktivi 2001/77/EC definira kao biorazgradivi dio proizvoda, otpada i ostataka iz poljoprivrede (uključujući biljne i životinjske supstance), šumarstva i drvne industrije, kao i biorazgradivi dio industrijskog i komunalnog otpada. Moguće ju je pretvoriti u energiju korištenjem različitih procesa ovisno o vrsti i kvaliteti sirovine; željenom obliku proizvedene energije; načinu upotrebe; okolišnim normama te ekonomskim mogućnostima. Najčešći odlučujući čimbenici su željeni oblik energije te vrsta i kvaliteta sirovine (McKendry, 2002.). Poljoprivredna lignocelulozna biomasa ima znatan energetske potencijal jer predstavlja ostatke primarne poljoprivredne proizvodnje, odnosno nusproizvode nakon dorade/prerade poljoprivrednih sirovina u prehrambenoj industriji (Krička *i sur.*, 2014.). Pod klasifikacijom poljoprivredne biomase ubraja se i biomasa dobivena uzgojem brzorastućih energetskih kultura (Bilandžija *i sur.*, 2017.). Energetske kulture su one kulture koje se uzgajaju isključivo u svrhu proizvodnje velikih količina biomase po jedinici površine, a dijele se na poljoprivredne i šumske. Poljoprivredne energetske kulture mogu biti jednogodišnje ili višegodišnje biljke. Za razliku od jednogodišnjih (npr. kukuruz, uljana repica), višegodišnje energetske kulture nemaju veće zahtjeve tijekom uzgoja i to prvenstveno u smislu agrotehnike i kvalitete poljoprivrednog tla (Đonlagić, 2005.; Bilandžija, 2015.). Mogućnost uzgoja na tlima lošije kvalitete je izuzetno bitno kako bi se izbjegla kolizija u proizvodnji energije i hrane (Bilandžija, 2015.). Energetske kulture pridonose raznolikosti u uzgoju kultura na poljoprivrednom zemljištu, a mogu se koristiti za pročišćavanje otpadnih voda i tla, kao i vezivanje povećane količine atmosferskog ugljika (Drvodelić, 2015.). Obzirom na činjenicu da višegodišnji energetske usjevi ostaju na polju duži niz godina, od izuzetne je važnosti stručno i kvalitetno provesti sve agro-tehničke

<sup>1</sup> Doc.dr.sc. Bilandžija Nikola, - Sveučilište u Zagrebu Agronomski fakultet, Zavod za mehanizaciju, Svetošimunska cesta 25, 10 000 Zagreb, Hrvatska. E-mail: nbilandzija@agr.hr

<sup>2</sup> Prof.dr.sc. Leto Josip, - Sveučilište u Zagrebu Agronomski fakultet, Zavod za specijalnu proizvodnju bilja, Svetošimunska cesta 25, 10 000 Zagreb, Hrvatska

<sup>1</sup> Fabijanić Goran, dipl. ing., - Sveučilište u Zagrebu Agronomski fakultet, Zavod za mehanizaciju, Svetošimunska cesta 25, 10 000 Zagreb, Hrvatska

<sup>1</sup> Izv.prof.dr.sc. Sito Stjepan - Sveučilište u Zagrebu Agronomski fakultet, Zavod za mehanizaciju, Svetošimunska cesta 25, 10 000 Zagreb, Hrvatska

<sup>3</sup> Smiljanović Ivan, univ. bacc. ing. agr. - bivši student preddiplomskog studija Poljoprivredna tehnika, Sveučilišta u Zagrebu Agronomski fakultet, Svetošimunska cesta 25, 10 000 Zagreb, Hrvatska

mjere tijekom podizanja i njege nasada (Bilandžija, 2013.). Jedni od najčešće istraživanih višegodišnjih energetske kulture su: *Miscanthus x giganteus*, *Panicum virgatum*, *Phalaris arundinacea* L. *Arundo donax*, i *Sida hermaphrodita*.

## Energetske kulture

### *Miscanthus x giganteus*

*Miscanthus x giganteus* (slika 1.) je triploidna, sterilna, višegodišnja (više od 20 godina) trava s debelim i jakim rizomima podrijetlom iz Azije. Ima uspravnu stabljiku promjera do 10 mm, 2,5 -  $\geq 3,5$  m visoku koja se obično ne grana. U Europi može doseći visinu nešto



preko 2 m u 1. godini, pa do 4 m svake sljedeće godine (El Bassam, 1994.; Hodkinson *i sur.*, 1997.). *Miscanthus x giganteus* karakteriziraju visoki prinosi, nizak sadržaj vlage u žetvi, visoka učinkovitost korištenja vode i dušika, te niska razina osjetljivosti na bolesti i štetnike. Utvrđeni prinosi trave *Miscanthus x giganteus* se kreću od 8 do 44,1 t ST ha<sup>-1</sup> (Heaton *i sur.*, 2008.; Miguez *i sur.*, 2008.; Lewandowski *i sur.*, 2000; Maughan *i sur.*, 2012.; Bilandžija, 2015.).

**Slika 1.** *Miscanthus x giganteus*

### *Panicum virgatum* (divlje proso, *Switchgrass*)

*Panicum virgatum* (slika 2.) je višegodišnja (više od 15 godina) trava podrijetlom iz Sjeverne Amerike i Kanade te spada u C<sub>4</sub> biljke. Može se uzgajati u širokom rasponu geografskih širina, uz moguću proizvodnju biomase do 25 t ST/ha (Parrish *i sur.*, 2012.). Dobro uspijeva na marginalnim tlima, a najbolje rezultate daje na fino i grubo teksturiranim tlima (Rinehart, 2006.).



Stabljika može narasti do visine od 2,70 m. Preporučena sjetvena norma iznosi 200-400 klijavih sjemenki/m<sup>2</sup>. Količina sjemena koja je potrebna za 1 ha varira od 4 kg/ha do 10 kg/ha (Vassey *i sur.*, 1985.; Vogel, 1987.; Wolf i Fiske, 1995; Moser i Vogel, 1995.; Teel *i sur.*, 2003.; Vogel, 2000.).

**Slika 2.** *Panicum virgatum*

*Arundo donax* L. (divovska trska, *Giant Reed*)

*Arundo donax* L. (slika 3) je višegodišnja, visoka i uspravna trava sa C<sub>3</sub> načinom fotosinteze. Podrijetlo nije još uvijek točno definirano, ali vjeruje se da potječe iz Azije i područja Mediterana. Danas se ova biljna vrsta uzgaja u umjerenim i suptropskim zonama. Dobro podnosi nepogodne uvjete uzgoja, ali preferira i najbolje uspijeva na područjima dobro opskrbljena vodom (Angelini *i sur.*, 2005.). Najbolje se prilagodio, a i najviše se uzgaja u blago umjerenim, suptropskim i tropskim područjima na obje hemisfere (Herrera i Dudley, 2003.). U prosjeku naraste 6-8 m,



a u idealnim uvjetima može prelaziti i 10 m. Jedan je od najperspektivnijih usjeva za proizvodnju energije na području mediteranske klime u Europi i Africi – prednost je to što je već prilagođen na okoliš, otporan na dulje razdoblje suše (Jeguirim i Trouvé 2009.; Zema *i sur.* 2012.). Nasad može trajati 12-15 godina te je u stanju proizvesti i do 60 t ST/ha u središnjoj i sjevernoj Italiji (Angelini *i sur.*, 2005.; Pilu *i sur.*, 2013.).

**Slika 3.** *Arundo donax*

*Phalaris arundinacea* L. (blještac, *Reed canary grass*)

*Phalaris arundinacea* L. je rizomska višegodišnja vrsta iz porodice trava. Porijeklom je



iz umjerenih područja Europe, Azije i Sjeverne Amerike (Ahlgren, 1956.). Prirodno se širi putem rizoma, ali se biljke mogu uzgojiti i iz sjemena (Batzer i Sharitz, 2006.). Prednosti vrste kao energetskog usjeva su njegova sposobnost da nikne iz sjemena te prilagodba siromašnim, mokrim tlima. Nasadi mogu trajati 12-15 godina. Može narasti 0,5-2 m visine (Tu, 2004.), a prinosi su u prosjeku oko 6-8 t suhe tvari/ha, a može doseći i 11 t suhe tvari/ha (Stražil, 2012.; Rancane *i sur.*, 2012.).

**Slika 4.** *Phalaris arundinacea* L.

*Sida hermaphrodita* (*Virginia fanpetals*, *Virginia mallow*)

Prirodno stanište kuture *Sida hermaphrodita* (slika 5) je jugoistočna obala Sjeverne Amerike, a spada u porodicu sljezova (*Malvaceae*) (COSEWIC, 2010.). *Sida hermaphrodita* tolerantna je na ekstremne tipove kontinentalne klime, posebno na zimske uvjete (podno-

si zime bez snijega s temperaturama ispod - 20 °C) te na sušne ljetne uvjete ako je godišnja razina padalina minimalno 400 – 500 mm. Visinom u punoj zrelosti varira od jednog do



četiri metra, ali najčešće postiže visinu od približno tri metra (Borowska i Molas, 2012.). Životni vijek joj traje približno 25 godina (Kasprzyk i sur., 2013.). Utvrđeni su prinosi na ilovasto glinastim tlima od 15 - 20 t ha<sup>-1</sup> suhe tvari (Borkowska, 2007.), a u teškim uvjetima uzgoja uz dodatak kanalizacijskog mulja, prinos je bio rasponu od 9 do 11 t ha<sup>-1</sup> (Borkowska i Wardzinska, 2003.).

**Slika 5.** *Sida hermaphrodita*

### Žetva energetskih kultura

U različite tehnike žetve ubraja se više agrotehničkih zahvata poput košnje; formiranja zbojeva, usitnjavanja, sabijanja i manipulacije proizvedene biomase. Žetva se može provesti specijaliziranim uređajima za košnju pojedine energetske kulture ili se može koristiti mehanizacija koja se koristi u konvencionalnoj ratarskoj proizvodnji. Osnovna podjela žetve se temelji obzirom na broj prohoda, i to na **višefaznu i jednofaznu**.

Prva faza **višefazne** tehnike se odnosi na košnju koja može biti provedena rotacijskom kosilicom, kosilicom s rotoudaračima, oscilirajućom kosilicom i samokretnim *windrowerom*. Ukoliko stroj za košnju ne formira zbojeve iste je poželjno formirati tijekom druge faze, dok se u trećoj fazi pristupa zahvatu prešanja. Na slikama 6, 7, 8 i 9 prikazani su primjeri pojedinih faze višefazne tehnike žetve energetskih kultura.



**Slika 6.** Košnja biomase



**Slika 7.** Formiranje zbojeva



**Slika 8.** Prešanje četvrastih bala



**Slika 9.** Prešanje okruglih bala



**Slika 10.** Samokretni *windrower*

*Windrower* je stroj koji se koristi u košnji trava i usjeva žitarica te oblikuje zbojeve, može biti izveden kao samokretni ili vučeni stroj. Najčešće je zastupljeniji u SAD-u i Kanadi. Režući mehanizam *windrower* stroja je sistem oscilirajuće kosilice, a u novije vrijeme i rotacijske kosilice s tanjurima. Na slici 9. je prikazan model Massey Ferguson Hesston WR 9870 s prednjom kosilicom bez vitla sa snagom motora od 179 kW (243 KS).

**Jednofazne tehnike** imaju samo jedan prohod (jedan ili dva agregata) mehanizacije u kojem se kombiniraju košnja i prešanje ili košnja i usitnjavanje biomase. U slučaju košnje samokretnim krmnim kombajnom nakon prolaska kroz bubanj kombajna biomasa se izravno upuhuje u prateće agregate (prikolice) u obliku sječke. Prikolice mogu biti paralelno vučene uz kombajn ili priključene na samim kombajnom. Tijekom jednofazne žetve s jednim agregatom, košnja se može provesti prednjim kosilicama s rotoudaračima, rotacijskim kosilicama s bubnjevima ili tanjurima, dok su na stražnjem priključnom vratilu prikopčane preše. Na slikama 10 i 11 prikazani su pojedini primjeri jednofazne tehnike žetve energetskih kultura s dva agregata, a na slikama 12 i 13 adaptirane izvedbe s jednim agregatom.

Proizvođač *Freeman* (SAD) proizvodi samokretne preše skupljačice za četvrtaste bale. Model 1592 SP za velike četvrtaste bale može imati višestruku namjenu: sa sakupljačkim (*pick-up*) uređajem „samo“ skuplja i preša biomasu ili se s prednje strane može priključiti uređaj za rezanje biomase koja se odmah preša. Diesel motor je snage 276 kW (375 KS) i masa stroja je 19,5 t. Navedeni stroj prikazan je na slici 15.



**Slika 11. i 12.** Jednofazna žetva s dva agregata, samokretni krmni kombajn i prikolica



**Slika 13. i 14.** Jednofazna žetva s dva agregata, prednji priključni krmni kombajn i preša



**Slika 15.** Samokretna preša

## Zaključak

Višegodišnje brzorastuće energetske kulture uglavnom pripadaju porodici trava (*Poaceae*), a karakteriziraju ih životni vijek duži od deset do petnaest godina, visoki prinosi po jedinici površine, mogućnost uzgoja na tlima lošije kvalitete te manji agrotehnički zahvati u odnosu na konvencionalne usjeve. Kako u svakoj poljoprivrednoj proizvodnji pa tako i u uzgoju energetskih kultura, korištenje adekvatne poljoprivredne tehnike predstavlja važan čimbenik u cjelokupnoj energetskoj i ekonomskoj bilanci. Tehnike provođenja sama žetve moraju biti u skladu sa skladišno doradbenim kapacitetima, ali i krajnjoj namjeni energetskog iskorištenja proizvedene biomase. Obzirom da se u većini slučajeva žetvi višegodišnjih energetskih kultura pristupa tijekom zime i ranog proljeća, uzgojem takvih kultura dolazi do povećanja eksploatacije poljoprivredne mehanizacije.

## Literatura

- Ahlgren, G.H. (1956). Forage crops. Agricultural Science Publications.
- Angelini, L.G., Ceccarini, L. i Bonari, E. (2005). Biomass yield and energy balance of giant reed (*Arundo donax* L) cropped in central Italy as related to different management practices. *Eur J Agron.*, 22: 375 – 389.
- Batzer, D.P. i Sharitz, R.R. (2006). Ecology of freshwater and estuarine wetlands. University of California Press, Ltd.
- Bilandžija, N. (2015). Potencijal vrste *Miscanthus x giganteus* kao energetske kulture u različitim tehnološkim i agroekološkim uvjetima. *Doktorski rad*, Sveučilište u Zagrebu Agronomski fakultet.
- Bilandžija, N. i Sito, S. (2013). Poljoprivredna tehnika u proizvodnji energetske kulture *Miscanthus x giganteus*. 41th International symposium on Agricultural Engineering "Actual Tasks on Agricultural Engineering", Vol 41, 343-354.
- Bilandžija, N., Jurišić, V., Voća, N., Leto, J., Matin, A., Grubor, M., Krička, T. (2017). Energy valorization of *Miscanthus x giganteus* biomass: A case study in Croatia. *Journal of processing and energy in agriculture*, 21 (1):0 32-36.
- Borkowska, H. (2007). Yields of Virginia fanpetals and willow on good wheat soil complex. *Fragmenta Agronomica*, 2: 7 – 41.
- Borkowska, H., Molas, R. (2012). Two extremely different crops, *Salix* and *Sida*, as sources of renewable bioenergy, Warszawa, Poland, *Biomass Bioenergy*, 36, 234-240.
- Borkowska, H., Wardzinska, K. (2003). Some effects of *Sida hermaphrodita* R. cultivation on sewage sludge. *Polish Journal of Environmental Studies*, 10: 119 – 122.
- COSEWIC (2010). Assessment and Status Report on the Virginia Mallow *Sida hermaphrodita* in Canada.
- Drvodelić, D. (2015). Podizanje energetskih nasada za proizvodnju biomase, *Gospodarski list*, 22, 39-49.
- Đonlagić, M. (2005). Energija i okolina. Printcom – Tuzla, Bosna i Hercegovina.
- El Bassam, N. (1994). *Miscanthus* - Stand und Perspektiven in Europa. Forum for Zukunfts-energien e. V. - Energetische Nutzung von Biomasse im Konsenz mit Osteuropa, *Proc. Internat*, 201-212.
- Heaton, E.A., Dohleman, F.G., Long, S.P. (2008). Meeting US biofuel goals with less land: the potential of *Miscanthus*, *Glob. Change Biol.*, 14 (9), 2000-2014.
- Herrera, A. i Dudley, T.L. (2003). Invertebrate community reduction in response to *Arundo donax* invasion at Sonoma Creek, *Biol. Invas.*, 5: 167 – 177.
- Jeguirim, C. i Trouvé, G. (2009). Pyrolysis characteristics and kinetics of *Arundo donax* using thermogravimetric analysis, *Biores. Technol.*, 100: 4026-4031.
- Kasprzyk, A., Leszczuk A., Szczuka, E. (2013). Stem morphology of the *Sida hermaphrodita* (L.) Rusby (Malvaceae), Lublin Poland, *Modern Phytomorphology*, 4: 25.
- Krička, T., Kiš, D., Jurišić, V., Bilandžija, N., Matin, A., Voća, N. (2014). Ostaci poljoprivredne proizvodnje kao visokovrijedni "zeleni" energent u istočnoj Hrvatskoj. Hrvatska Akademija znanosti i umjetnosti - Zagreb. *Zbornik radova Poljoprivrede i šumarstvo kao proizvođači obnovljivih izvora energije*, 143 – 152.
- Lewandowski, I., Clifton-Brown, J.C., Scurlock, J.M.O., Huisman, W. (2000). *Miscanthus*: European experience with a novel energy crop, *Biomass Bioenergy*, 19 (5), 209-227.
- Maughan, M., Bollero, G., Lee, D.K., Darmody, R., Bonos, S., Cortese, L., Murphy, J., Gaussoin, R., Sousek, M., Williams, D., Williams, L., Miguez, F., Voigt, T. (2012). *Miscanthus x giganteus* productivity: the effects of management in different environments, *Glob. Change Biol. Bioenergy*, 4 (3), 253-265.
- McKendry, P. (2002). Energy production from biomass (part 1). Overview of biomass. *Bioresource Technology*, 83, 37-46.
- 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, *Agric. Forest Meteorol.*, Vol. 148 (8-9), 1280-1292.
- Moser, L. E. i Vogel, K. P. (1995). Switchgrass, big bluestem, and indiangrass. In: *Forages. Vol. 1. An Introduction to Grassland Agriculture. 5th Ed.*, pp.409-420. Barnes, R. F., Miller, D. A. and Nelson, C. J., Eds. Iowa State Univ. Press, Ames.
- Parrish, D. J., Casler, M. D., Monti, A. (2012). The evolution of switchgrass as an energy crop. In: Monti A (Ed.). *Switch-*

grass: A Valuable Biomass Crop for Energy. Springer-Verlag, 1-28.

Pilu, R., Manca, A., Landoni, M. (2013). *Arundo donax* as an energy crop: pros and cons of the utilization of this perennial plant. *Maydica electronic publication*, 54-59.

Rancane, S., Arshanitsa, A., Solodovnik, V. i Lazdina, D. (2012). Potential of reed canary grass as an energy crop in Latvian conditions. European Regional Development Funding 2.1.1.1. "Support to Science and Research"- Projects.

Rinehart, L. (2006). Switchgrass as a Bioenergy Crop. ATTRA – National Sustainable Agriculture Information Service.

Stražil, Z. (2012). Evaluation of reed canary grass (*Phalaris arundinacea* L.) grown for energy use. Crop Research Institute, Prague, Czech Republic. *Res. Agr. Eng.*, 58: 119–130.

Teel, A., Barnhart, S., Miller, G. (2003). Management Guide for the Production of Switchgrass for Biomass Fuel in Southern Iowa. Iowa State University Extension, Ames, IA.

Tu, M. (2004). Reed canary grass (*Phalaris arundinacea* L.) control & management in the Northwest Pacific. The Nature Conservancy's Wildland Invasive Species Team. The Nature Conservancy, Oregon Field Office.

Vassey, T. L., George, J. R., Mullen, R. E. (1985). Early-, mid-, and late-spring establishment of switchgrass at several seeding rates. *Agron. J.*, 77, 253–257.

Vogel, K. P. (1987). Seeding rates for establishing big bluestem and switchgrass with preemergence atrazine applications. *Agron. J.*, 79: 509–512.

Vogel, K. P. (2000). Improving warm-season forage grasses using selection, breeding and biotechnology. In: Native Warm-Season Grasses: Research Trends and Issues, pp. 83-106. Anderson, B. E. and Moore, K. J., Eds., CSSA Special Pub. No. 30. *Crop Science Society of America*, Madison, WI.

Wolf, D. D. i Fiske, D. A. (1995). Planting and Managing Switchgrass for Forage Wildlife, and Conservation. Virginia Cooperative Extension Pub. no. 418–013, Blacksburg, VA.

Zema, D. A., Bombino, G., Andiloro, S., Zimbone, S. M. (2012). Irrigation of energy crops with urban wastewater: Effects on biomass yields, soils and heating values. *Agr. Water Manage.*, 115: 55-65.

Review paper

## Harvesting techniques of agricultural energy crops

### Abstract

The agricultural biomass classification includes also the biomass obtained by production of fast growing energy crops. In order to make the production of energy crops as efficient as possible, special emphasis should be put on agricultural harvesting biomass technique. The aim of this paper is to provide an overview of the important perennial agricultural energy crops and the possibilities of their mechanized harvest. The biomass harvest can be divided on two techniques, namely multiphase and single phase. The mowing itself is carried out by flail mower, rotary drum mower, cutter bar mower, rotary disc mower, self-propelled windrower and self-propelled forage harvester. Considering the harvesting technique, it is important to provide appropriate agricultural mechanization for the gathering spread biomass into a windrow for baling, pressing and manipulation of biomass.

**Key words:** energy crops, biomass, harvesting techniques, mechanization