



Производња биомасе из енергетских и брзорастућих биљака

Јела Икановић, Вера Поповић, Далибор Дончић, Војислав Тркуља

Сажетак: Земље које немају значајније изворе фосилних горива и своје енергетске потребе заснивају на увозу енергената, настоје да електричну и топлотну енергију обезбиједи из обновљивих извора. Одлука о производњи биомасе за енергију умјесто хране зависи од рентабилности производње, у коју су укључене и субвенције државе за такву производњу. Производња енергије гајењем одговарајућих биоенергетских усјева може значајно допринијети мултифункционалности пољопривреде. Повећање производње из обновљивих енергетских извора постављено је као циљ којем се тежи у већини развијених земаља, посебно након усвајања Кјото протокола (1997) о климатским промјенама и смањењу емисије гасова и ефекта стаклене баште.

Агроеколошки и земљишни услови Републике Српске пружају могућност гајења агроенергетских усјева који представљају шансу за пољопривредне произвођаче који посједују земљишта мање повољних физичких и хемијских особина. Међутим, производња и ширење биоенергетских усјева изложени су оштрим критикама и сумњама у њихову економску оправданост. Основни проблем је идентификација најподесније биомасе и пројектовање

Цитирање: Икановић Ј, Поповић В, Дончић Д, Тркуља В (2023) Производња биомасе из енергетских и брзорастућих биљака. У: Тркуља В, Говедар З, Пржуљ Н (уредници) Управљање ресурсима у производњи и преради биомасе. Академија наука и умјетности Републике Српске, Бања Лука, Монографија LII:219–247

Cite as: Ikanović J, Popović V, Dončić D, Trkulja V (2023) Biomass production from energy and fast growing plants. In: Trkulja V, Govedar Z, Pržulj N (eds) Resource management in biomass production and processing. Academy of Sciences and Arts of the Republic of Srpska, Banja Luka, Monograph LII:219–247

процеса којим из ње треба добити енергију.

Коришћењем произведене биомасе значајно би се смањила потрошња фосилних горива којих има у ограниченим количинама. Велики генетички потенцијал родности сврстао је шпанску трску и мискантус у групу најважнијих биоенергетских усјева. Увођењем у производњу ових претежно вишегодишњих биљака, уз нешто већа улагања у години заснивања, а значајно мања у годинама коришћења, могла би се искористити необрађена пољопривредна земљишта, али и привести намјени већина непољопривредних површина и депосола. Свјежа надземна биомаса биљака шпанске трске и мискантуса, покошених у фенофази метличења, служи за добијање биогаза, док се сува балирана стабла без листова директно сагоријевају у котловским постројењима или служе за производњу брикета.

Предности коришћења ових биљака за производњу биогорива у односу на друге ратарске биљке јесу већи принос и већа количина добијеног горива по јединици површине, као и чињеница да се њиховим узгојем не смањује свјетска производња хране јер ове врсте мало учествују у укупним свјетским површинама за производњу хране биљног поријекла.

Кључне ријечи: Биоенергетски усјеви, биомаса и биогорива, фосилна горива, шпанска трска, мискантус, маргинална земљишта

5.1. Увод

Интензиван технолошки развој сваке земље заснива се на сталном подмиривању растућих потреба у храни и енергентима. Земље које немају значајније изворе фосилних горива па своје енергетске потребе заснивају на увозу енергената, временом постају зависне од међународног тржишта, које диктира количине и цијене ових сировина. Стога су многе, у првом реду високоразвијене земље одредиле да око 10% својих енергетских потреба обезбиједе из обновљивих извора. Земљишни ресурси свакако су ограничени, тако да се земљиште мора рационално користити у сврхе производње хране, биоенергије и других сировина. Компромис се може постићи избором одговарајуће биљне врсте за гајење. Одлука произвођача да производи енергенте умјесто хране зависи, прије свега, од њихове цијене, односно постигнутог прихода, капацитета на пољопривредном имању и, наравно, субвенција државе за такву производњу (Kresović i sar. 2016). Осим економске користи, процјењује се да ће производња енергије гајењем одговарајућих биоенергетских усјева значајно допринијети мултифункционалности

пољопривреде (Ikanović i sar. 2015), а главни мотив за будуће коришћење ових усјева у Србији јесте могућност остваривања високог нивоа енергетске аутономије пољопривредних газдинстава. Већи број биљних врста као биоенергетских усјева има дугу традицију производње и коришћења, али се у новије вријеме гаје и оне добијене оплемењивањем самониклих биљака из спонтане флоре (Dražić i sar. 2014). Већина биљака које се називају енергетски усјеви могу се користити и у исхрани људи и домаћих животиња, али њихово гајење ради добијања биогорива нема већи утицај на смањење производње хране, како за људе тако и за домаће животиње.

Крајем XX вијека у Европи и Америци започела су обимна истраживања на изналажењу алтернативних енергетских извора (Rahman 2007; Samarina et al. 2018; Pehlken et al. 2020). Један од праваца био је проучавање могућности коришћења ратарских биљака које током вегетационе сезоне дају велику биомасу подесну за прераду у биогорива. Као могуће рјешење предложено је коришћење зрна кукуруза, соје, уљане репице и других ратарских врста за производњу биоенергије (Glamočlija i Ikanović 2012; Beckman et al. 2013; Anatolioti et al. 2019).

Међутим, како истичу аналитичари, повећана прерада важних сировина за прехранбену индустрију имала би негативне посљедице у виду смањене понуде и повећања цијена хране. Поремећај на свјетском тржишту хране могао би створити социјалне проблеме у земљама у развоју. У циљу изналажења најприхватљивијег рјешења овог проблема, намеће се потреба да се ове земље определијеле за гајење биљака које се не користе као храна. Како истичу Kresović i sar. (2016), једна од најпродуктивнијих врста у умјереном климатском подручју Европе, Азије и Америке јесте мискантус (Сл. 5.1).



Сл. 5.1. Биомаса брзорастућих биљака (Heritage Giant Miscanthus 2021)
Fig. 5.1. Biomass fast growing plants (Heritage Giant Miscanthus 2021)

Иако је основна функција пољопривреде производња хране, њу је неопходно посматрати и кроз призму мултифункционалности, која подразумева остваривање и других, прије свега економски оправданих и друштвено корисних функција. Управо производња енергије гајењем одговарајућих биоенергетских усјева може значајно допринијети мултифункционалности пољопривреде. Тренутни релативно маргинални значај биоенергетских усјева постепено се превазилази сталним растом производње биогорива и, на тај начин, повећањем удјела површина под биоенергетским усјевима у укупној површини под пољопривредним усјевима (Markandya and Setboonsarng 2008). Интереси у погледу производње биогорива су контроверзни, при чему спољни фактори могу имати одлучујући утицај на развијање националних програма биогорива (Tomei and Helliwell 2016). Биоенергија може позитивно допринијети климатским циљевима, међутим, уколико се не имплементира успјешно, она може погоршати деградацију земљишних и водених површина, деградацију екосистема, редуковати сигурност производње хране и повећати емисије гасова стаклене баште (Ma and Chen 2019). У том смислу, циљ политике планирања и управљања енергијом мора бити усмјерен ка смањењу потрошње и увођењу нових извора енергије, те повећању обима и квалитета пољопривредне производње и мањем загађењу животне средине, односно мањим трошковима производње (Дражић и сар. 2010).

5.2. Значај енергетских усјева

Интензиван технолошки развој почива, између осталог, и на сталном подмиривању растућих потреба у храни и енергентима. Исцрпљивање извора фосилних горива, као и раст њихових цијена, узроковали су спровођење низа истраживања која имају за циљ изналажење алтернативних енергетских извора (Koruba et al. 2016). Значајан пораст свјетске популације у XX вијеку наставио је растући тренд почетком овог вијека, због чега ће и у будућности бити потребно континуирано наставити истраживања на изналажењу и примјени нових технолошких рјешења у производњи хране и енергије, као и заштите животне средине (Lewandowski et al. 2003a). До 2050. године, потрошња хране и енергије ће се удвостручити (Јањић и Пржуљ 2020). Свјетске количине фосилних горива, основног снабдјевача енергијом, ограничене су. С друге стране, све већа употреба фосилних горива значајно повећава количину штетних гасова у атмосфери (Perera 2017). Под снажним притиском да побољшају енергетску сигурност са становишта заштите животне средине и зависности од увоза, високоразвијене земље свијета чине значајне покушаје да постепено пређу на биогорива – етанол и биодизел. Стопа

пораста употребе алтернативних горива значајно расте, око 15% годишње, због чега управо најразвијеније земље предњаче у производњи биогорива (Јањић и Пржуљ 2020). Тако су САД до 2015. године удвостручиле производњу биоетанола, док је Европска комисија поставила задатак да се до 2020. године биогоривима подмири око 10% потрошње горива у сектору транспорта (Marišová et al. 2016). Како се за производњу биогорива највише користе плодови ратарских биљака, аналитичари истичу неминовно повећање цијена хране и стварање социјалних проблема у земљама у развоју (Јањић и Пржуљ 2020).

Рјешење овог проблема јесте даље усавршавање технолошког поступка добијања етанола из других природних извора, на примјер, целулозе, што би искључило главне ратарске производе за добијање биогорива. У том случају, као сировина за производњу биогорива могу послужити жетвени остаци или нове гајене биљке, које током године дају велику количину биомасе која је погодна за ову производњу. Повећање производње из обновљивих енергетских извора постављено је као циљ којем се тежи у већини развијених земаља, посебно након усвајања Кјото протокола (1997) о климатским промјенама и смањењу емисије гасова и ефекта стаклене баште. Биомаса, која развија енергију, један је од начина којим се могу остварити обавезе према Кјото протоколу (Lewandowski et al. 2003b; Marín et al. 2009).

Агроеколошки и земљишни услови Републике Српске и Србије пружају могућност гајења многих агроенергетских усјева који представљају велику шансу за пољопривредне произвођаче који посједују земљишта мање повољних физичких и хемијских особина за гајење ратарских усјева. Већина агроенергетских усјева може се гајити и на маргиналним земљиштима, мање подесним за ратарско-повртарску и воћарско-виноградарску производњу. Увођењем у производњу ових претежно вишегодишњих биљака, уз нешто већа улагања у години заснивања, а значајно мања у годинама коришћења, могла би се искористити необрађена пољопривредна земљишта, али и привести намјени већина непољопривредних површина и депосола. Коришћењем произведене биомасе значајно би се смањила потрошња фосилних горива, чије су количине и залихе на Земљи ограничене (Kresović i sar. 2016).

Сировине добијене гајењем енергетских усјева прерађују се у биогорива у великим индустријским погонима, али се оне могу прерадити и на фарми уз мања улагања у додатну опрему. Тако би сваки фармер који производи енергетске усјеве, осим тога што би сировинама могао снабдијевати велика индустријска постројења, могао добити и биогориво за потребе сопственог домаћинства.

У Републици Српској, око 20% домаћинстава користи дрво као гориво за гријање. Због овако велике потрошње дрвета, у посљедње вријеме све више се промовишу засади дрвећа са великим бројем биљака (густе засади са кратким опходњама), који представљају униформну, локално доступну сировину брзорастућих лишћарских врста дрвећа (Stajić 2016). Засади се најчешће састоје од густо сађених врба или топола, које се сијеку обично на сваке три године. Коријен остаје у земљи после сјече и из њега израстају нови младари наредног прољећа. Такође, директним сагоријевањем биомасе преведене у сјечку иверањем цијелих стабала, заједно са кором и гранама, може се остварити значајна количина топлотне енергије. У нашим агроеколошким условима, као најбољи за ову намјену показали су се клонови америчке црне тополе (*Populus deltoides* W. Bartram ex Marshall), који имају релативно високу запреминску масу и висок прираст дрвне масе, у односу на клонове евро-америчких топола (Balijan 2017). У комбинацији са одговарајућим густинама садње, уз неопходне биолошке мјере његе и заштите, могу се остварити сви неопходни предуслови за оснивање тзв. енергетских плантажа из обновљивих природних извора (Babović i sar. 2012).

Остаци резидбе воћака и винове лозе се, такође, могу користити у свом неизмијењеном облику, као енергент у процесу сагоријевања ради добијања топлоте. Притом, пресудан утицај на количину орезане биомасе има врста воћака, односно винове лозе и одлике сорте. Међутим, у нашим условима, прикупљање, обрада, припрема и коришћење резидбених биљних остатака нису нашли ширу примјену, зато што остатке од резидбе одликује значајна влажност, варијабилност састава и кабаста форма, а тиме и мала запреминска маса, што условљава веома малу рационалност у транспорту, као и отежано манипулисање, складиштење и употребу у горионцима (Ikanović i sar. 2015).

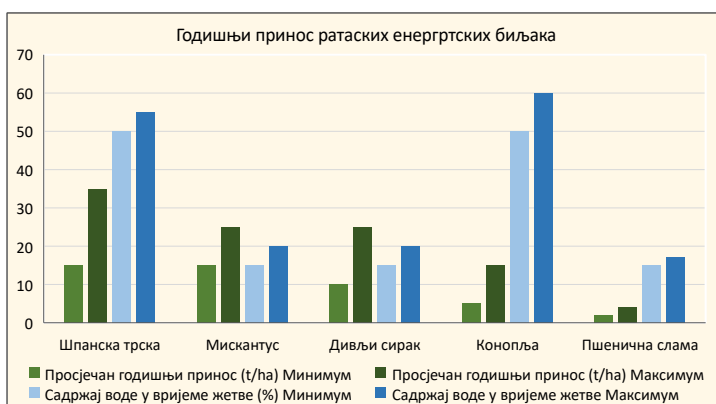
5.3. Биоенергетски усјеви

Групи енергетских усјева припада велики број самониклих и гајених једногодишњих и вишегодишњих биљних врста чији се генеративни и вегетативни (надземни или подземни) органи користе за производњу гасовитих, течних или чврстих биогорива. Према ботаничкој припадности и начину гајења, енергетски усјеви могу бити ратарски и шумски. Треба истаћи да већина ових врста има дугу традицију производње и коришћења, док су неке добијене оплемењивањем самониклих биљака из спонтане флоре. Већина биљака које су дефинисане као енергетски усјеви могу се

користити у исхрани људи и домаћих животиња, али њихово гајење и коришћење за производњу биоенергије нема значајнији утицај на производњу хране.

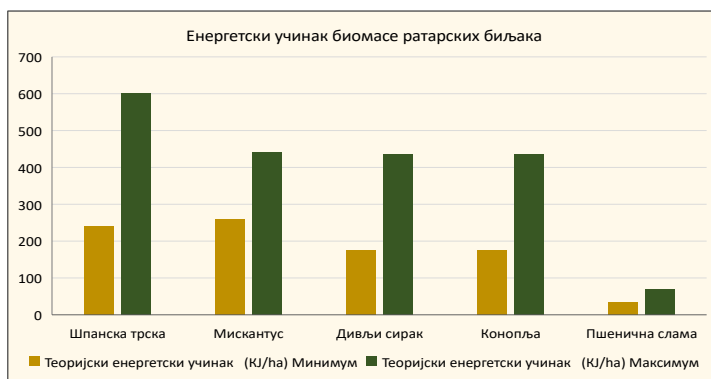
У свијету је спроведен велики број истраживања првенствено травних биљних врста као потенцијалних енергетских усјева (Volaire et al. 2014; Fernando et al. 2015; Scordia and Cosentino 2019). Перспективне за коришћење су различите врсте једногодишњих и вишегодишњих трава, које одликује висок принос биомасе, висока ефикасност коришћења хранљивих материја и воде и добар квалитет сагоријевања биомасе. Вишегодишње траве које сваке године производе надземни усјев могу имати већи принос него гајени шумски усјеви, а може се користити постојећа механизација на газдинству. Према Џелетовић и сар. (2006), најинтересантније за гајење и са највећим потенцијалом обезбјеђивања биоенергије јесу сјеверноамерички дивљи просо (*Panicum virgatum* L.), европска трстика (*Phalaris arundinacea* L.), шпанска трска (*Arundo donax* L.) и мискантус (*Miscanthus × giganteus* J. M. Greef & Deuter) (Граф. 5.1). У Европи је најзаступљенији и масовно се узгаја мискантус.

Према Heaton et al. (2004), годишњи принос шпанске трске варира од 15 до 35 т ха⁻¹, садржај воде од 50% до 55%, а енергетски учинак од 240 до 600 КЈ ха⁻¹, док годишњи принос дивљег сирака варира од 10 до 25 т ха⁻¹, садржај воде од 15% до 20%, а енергетски учинак од 174 до 434 КЈ ха⁻¹. Исти аутори наводе да годишњи принос конопље варира од 5 до 15 т ха⁻¹, садржај воде од 50% до 60%, а енергетски учинак од 128 до 270 КЈ ха⁻¹, док годишњи принос пшеничне сламе варира од 2 до 4 т ха⁻¹, садржај воде од 15% до 17%, а енергетски учинак од 35 до 70 КЈ ха⁻¹ (Граф. 5.1, 5.2).



Граф. 5.1. Годишњи принос биомасе енергетских усјева (Heaton et al. 2004)
 Graph. 5.1. Annual biomass yield of energy crops (Heaton et al. 2004)

У посљедње вријеме су истраживања, убрзан развој и ширење биоенергетских усјева изложени оштрим критикама и сумњама у њихову економску оправданост (Azarpour et al. 2013; Pilu et al. 2013; Lingayata et al. 2020). Основни проблем је идентификација најподесније биомасе (Сл. 5.1. и 5.2) и пројектовање процеса којима из биомасе треба екстраховати енергију. Наиме, процес производње енергије из одређених енергетских биљних врста, које су потенцијално енергетски приступачне, вјероватно није економски оправдан, па чак можда неће ни компензовати утрошак енергије за њихову производњу. Осим тога, препреке за постизање успјеха представљају још увијек економски висока укупна цијена биогорива за крајње кориснике, као и тешкоће у конкурентности са конвенционалним биљкама, због високе производне цијене и потребе за коришћењем земљишта на дужи временски период.



Граф. 5.2. Енергетски учинак енергетских усјева (Heaton et al. 2004)
Graph. 5.2. Energy performance of energy crops (Heaton et al. 2004)

У земљама ЕУ, економика биоенергије зависи од финансијских субвенција код свих врста енергетских усјева, осим код директног сагоријевања биомасе за топлотну енергију. Такође, сматра се да узгој енергетских биљака у ЕУ неће битно смањити производњу биљака за исхрану, али зато може утицати на повећање цијена пољопривредних производа (Ciaian Kapcs 2011). Може се очекивати да ће се приходи од пољопривреде у будућности повећавати, јер је пољопривреда све више повезана са развојем цијена примарне енергије, тј. повећање цијена енергије мора повећати цијене пољопривредних производа. Притом, производња енергије која замјењује пољопривредну производњу не доприноси отварању нових радних мјеста (Дражић и сар. 2010).



Сл. 5.2. Биомаса настала прикупљањем биљних остатака (Фото Икановић Ј)
Fig. 5.2. Biomass produced by collecting plant residues (Foto Ikanović Ј)

Иако је допринос биоенергије енергетском билансу још увијек маргиналан, евидентан је убрзан развој и ширење биоенергетских усјева, како у Европи (Bentsen and Felby 2012), тако и у САД (Mitchell et al. 2016) и неким државама Азије. У почетку, усјеви за биомасу препоручивани су за земљишне површине које су маргиналне за усјеви који се гаје за производњу хране. Према статистичким подацима, Република Српска и Босна и Херцеговина имају довољно напуштених и неискоришћених земљишта, на којима би се могли гајити ови усјеви, а да не дође до смањења постојећих обрадивих површина на којима се узгајају биљке намијењене за производњу хране за људе и домаће животиње. Међутим, процјене су да ће одговарајући развој и комерцијални успјех примјене различитих врста биогорива бити условљен развојем и примјеном одговарајућих метода производње, као и даљим развојем тржишта која ће обезбиједити економске стимулансе и равноправније услове трговања. С друге стране, резултати из неких развијених земаља указују на то да примјена високоефикасних пољопривредних система, комбинованих са географском оптимизацијом коришћења земљишних површина, може смањити површине потребне за глобалну производњу хране до 2050. године на скоро 72% од постојећих површина.

Према досадашњим истраживањима, највећу продукцију биомасе у Србији подесну за даље коришћење као енергента дају оплемењене вишегодишње врсте мискантуса и шпанске трске које се размножавају вегетативно (ризомима), као и преријски просо и неке форме сирка шећерца који се размножавају сјеменом (Гламочлија и сар. 2012; Janković i сар. 2017).

Правилан одабир врсте која ће се гајити за производњу биомасе подразумијева проучавање њених производних особина (генетички потенцијал родности), квалитета добијене сировине за производњу енергије, потреба биљака према агроколошким и земљишним условима, те могућности коришћења расположиве пољопривредне механизације у технологији производње ових усјева (Pervanchona et al. 2002).

5.4. Шпанска трска (*Arundo donax* L.)

Поријекло и привредни значај. Ова вишегодишња врста појављује се као самоникла биљка на широком простору од медитеранског подручја до Индије, гдје расте на забареним земљиштима чак до 2.400 метара надморске висине (јужни обронци Хималаја) (Pilu et al. 2012). У повољним условима топлоте и влажности има интензиван годишњи пораст биомасе. Припада породици трава (*Poaceae*). Култивисање и гајење ове биљне врсте започело је у Калифорнији 1820. године, када су се стабла ове биљке почела користити као материјал за покривање кровова и израду привремене дренаже на земљиштима која су периодично изложена поплавама (Decruyenaere and Holt 2005). Данас се шпанска трска гаји на свим континентима, у суптропским и топлим подручјима континенталне климе. Ова биљка има вишеструку намјену која се огледа у директном коришћењу биљака у исхрани домаћих животиња и перади, али се може користити и на непосредан начин (Гламочлија и сар. 2012).

Кад стабла достигну висину до два метра, свјежа надземна биомаса представља добру кабасту сточну храну за домаће животиње преживаре, док зрела, осушена стабла могу да служе као директан извор топлотне енергије сагоријевањем у котловским постројењима у облику брикета или повезана у снопове у пећима термоелектрана (Corno et al. 2014).

Одговарајућим технолошким поступком из стабала се издваја целулоза, која је сировина за добијање папира или етанола, као основне сировине за производњу биодизела. У годинама максималне органске продукције, може се добити 40–60 т ха⁻¹ суве биомасе, а прерадом око 11.000 литара етанола (Silva et al. 2015). Ова количина је значајно већа у односу на друге ратарске биљке. Прерадом кукуруза може се добити око 4.500 литара етанола, преријског проса око 4.600 литара, а шећерне трске око 8.800 литара (Јањић и Пржуљ 2020). Наведени подаци указују на то да је прерада продуктивних органа ратарских биљака, с једне стране, нерационална, док се с друге стране губе значајне количине хране за људе и домаће животиње, за којима у свијету постоји све већа потражња (Јанковић и сар. 2017).

Осим тога, на фарми се стабла шпанске трске могу користити као грађевински материјал (ограде, покривка за привредне објекте и слично) или као притке за гајење високих повртарских усјева. У домаћој радиности више од 5.000 година људи користе стабла шпанске трске за израду народних музичких инструмената. Захваљујући брзом порасту, доброј олисталости и високим стаблима, ова биљна врста може да се гаји у циљу ублажавања негативног дејства вјетрова на пољима. Такође, погодна је за биоремедијацију земљишта и вода јер усваја штетне материје из земљишта и из отпадних вода у каналима. Велики је потрошач CO₂, али усваја и друге штетне гасове из атмосфере па је цијењена и са становишта заштите животне средине, посебно поред саобраћајница, великих насеља, индустријских и рударских објеката (Гламочлија и сар. 2012). Исти аутори наводе да на непољопривредним земљиштима која су подложна ерозији (нагнути терени, површине поред водотокова и сл.) шпанска трска својим снажним и разгранатим коријеновим системом спречава испирање честица земље. Истовремено, на таквим површинама ова биљна врста ствара одличне услове за живот племените дивљачи, као и одлична станишта за птице.

Захваљујући свестраној примјени, шпанска трска представља биљну врсту која својом биомасом може синтетисати значајну количину органске материје. Она се једноставним технолошким поступком може искористити као кабаста сточна храна или као енергент којим ће се значајно подмирити потребе за енергијом из обновљивих извора и смањити трошење фосилних горива.

Услови успијевања. Шпанска трска је биљка која у једној години образује велику биомасу, при чему за своје животне потребе троши велике количине воде (Bell 1997). Динамика усвајања воде показује да су потребе за њом мање у фазама ницања и бокорења, али се оне значајно повећавају у фенофази влатања. Касније, динамика потрошње воде се смањује, док у фазама зрелости њено усвајање потпуно престаје. Снажан вишегодишњи коријенов систем снабдијева биљке водом из дубоких слојева земљишта па су биљке толерантне и на краткотрајну сушу. Осим тога, шпанска трска није осјетљива на квалитет воде тако да се може гајити поред канала са отпадним водама или заливати непречишћеном водом. Поријекло ове трске указује на то да је то топлољубива биљка која је осјетљива на прољећне мразеве. Ницање једногодишњих стабала започиње при 7 °C, док се максималан развој биљака постиже при температурама до 30 °C. Будући да припада групи C₃ биљака, слабије користи сунчеву свјетлост од већине врста породице трава. Због тога, да би испољила високу фотосинтетску активност, треба је гајити на осунчаним теренима. Највише јој одговарају услови дугог дана јер је максимална продукција биомасе током јуна и јула. У погледу

земљишта врло је толерантна. Добро успијева на тешким глиновитим, али и на пјесковитим и шљунковитим земљиштима широког распона реакције земљишног раствора, од рН 3 до рН 9. Подједнако добро успијева на превлаженим барским, али и на исушеним земљиштима. Може да се гаји и на земљиштима загађеним арсеном, кадмијумом и оловом. Биљке усвајају тешке метале, али их не спроводе у стабла и листове, већ их акумулирају у подземним органима. Дугогодишњим гајењем на истој површини биљке корјеновима позитивно утичу на квалитет земљишта јер га ослобађају тешких метала и повећавају садржај органске материје те активирају рад корисне земљишне флоре и фауне (Гламочлија и сар. 2012; Vorina et al. 2013). Ово је посебно важно уколико се шпанска трска гаји на земљиштима која су укључена у систем рекултивације.

Продуктивни органи шпанске трске су стабла, због чега је оптимално вријеме за бербу када отпадно листови, те када се садржај воде у стаблима спусти испод 30%. Начин бербе зависи од даље употребе биомасе. Уколико се она користи за добијање етанола или за справљање брикета, берба се изводи силокомбајнима, који одсјечена стабла сјецају на дужину око 10 цм и убацују у приколицу. Покошена биомаса директно се вози на прераду. Приноси суве биомасе у годинама пуне експлоатације крећу се до 50 т ха⁻¹ (Гламочлија и сар. 2012).

5.4.1. Технологија производње шпанске трске

Као и све вишегодишње врсте биљака које на истом земљишту остају дужи низ година, и шпанска трска се гаји изван плодореда, најчешће на забареним земљиштима која нису погодна за њивску производњу. Најчешћи предусјеви су мочварни травњаци.

Систем обраде зависи од земљишних услова и величине површине на којој ће се биљка гајити. На великим равним површинама и њивама у интензивном гајењу примјењује се класично јесење орање на 30 цм дубине, и површинска обрада пред садњу ризома. На малим површинама и у специфичним земљишним условима примјењује се ручна обрада мјеста садње, при чему се прво корови униште тоталним хербицидима, након чега се маркером обиљеже мјеста садње која се обраде ручно ашовом или грабуљама.

При заснивању засада требало би по цијелој површини или локално додати органска или минерална НРК хранива. Који облик и количине појединих хранива су потребни – одређује се на основу анализе плодности земљишта и потреба биљака у години заснивања.

Како је шпанска трска осјетљива на мразеве у почетним фенофазама развоја, садњу треба извести средином априла. За садњу се користе одсјечци ризома дужине десетак центиметара. На већим површинама садња се изводи садилицама на међуредна растојања 1–1,5 м и растојања у реду 35–50 цм са циљем да се добије 20.000–30.000 биљака по хектару (Christou et al. 2001). Дубина садње је до 10 цм. Према Јанковић и сар. (2017), не препоручује се да се ризоми шпанске трске саде плиће од 10 цм јер се дубином садње регулише развој коријеновог система и надземних стабала, али и отпорност биљака на измрзавање. Исти аутори наводе да се, поред машинске, може обавити и ручна садња шпанске трске, која подразумијева обиљежавање мјеста маркером, након чега се копају јамице у које се полаже по једна садница.

У усјеву посађеном на међуредно растојање од 1–1,5 м, послије ницања биљака изводи се једно до два међуредна култивирања. Том приликом се може обавити и прихрањивање усјева азотом. Међуредна култивирања у циљу чишћења усјева од корова изводе се послије ницања цвјетних стабала у другој години. У наредним годинама не треба култивирати међуредни простор јер биљке ризомима покривају готово цијелу површину (Гламочлија и сар. 2012).

5.5. Мискантус (*Miscanthus x giganteus* J. M. Greef & Deuter)

Поријекло и привредни значај. Мискантус је вишегодишња биљка из породице трава (*Poaceae*). Поријеклом је из источне Азије. Сматра се да је рад на селекцији и комерцијалној производњи овог енергетског усјева започео у Кини. У XX вијеку мискантус је из Кине пренесен у Западну Европу и Сјеверну Америку као декоративна биљка. У земљама Западне Европе, комерцијална производња ове биљке почела је 2002. године на преко 500 ха, уз значајно повећање површина у наредном периоду. У међувремену је комерцијална производња мискантуса започела и у осталим подручјима умјереноконтиненталне климе. У Србији се на огледним пољима налази од 2006. године, након чега се чине значајни напори да се заснују прве површине за комерцијалну производњу (Гламочлија и сар. 2012).

Према истраживањима у Западној Европи, за производњу биоенергије најбоље резултате дала је синтетичка врста, односно интерспецијес хибрид *Miscanthus x giganteus* (Fowler et al. 2003). То је биљка која се одликује високом фотосинтетском активношћу и која током вегетационе сезоне даје велики принос надземне биомасе погодне за производњу топлотне енергије. Велики генетички потенцијал родности током године сврстао је

мискантус у групу биоенергетских усјева. Сагоријевањем надземне биомасе у атмосферу се испусти иста количина CO₂ коју су биљке током вегетационог периода уградиле у органску материју. Количине других штетних гасова које се ослобађају сагоријевањем мискантуса значајно су мање него из фосилних горива. Као енергент, мискантус је интересантан и за фармере јер његовим коришћењем могу подмирити и дио сопствених енергетских потреба. Топлотна вриједност биомасе сувих стабала је висока (17,7 MJ kg⁻¹). Може се користити као чврсто гориво, на примјер, за сагоријевање са угљем. Гајењем мискантуса остварује се нето енергетски принос од 152–326 MJ ha⁻¹ годишње (Lewandowski et al. 2003b). По количини пепела коју ослобађа, незнатно премашује дрва, али је она значајно мања од количине која настаје сагоријевањем сламе. У нашим агроеколошким условима производња мискантуса може бити рентабилна јер се може гајити на земљиштима која нису погодна за већину ратарских биљака (Dražić et al. 2017).

Ботаничка класификација. Мискантус, тј. кинески шаш или слонова трава (*Miscanthus x giganteus*), јесте триплоидни стерилни интерспецијес хибрид настао укрштањем врста *Miscanthus sacchariflorus* (диплоид) и *M. sinensis* (тетраплоид). Издвојио га је дански истраживач Аксел Олсен 1935. године, уочивши његов изузетно снажан пораст. Род *Miscanthus* обухвата велики број самониклих врста и варијетета, од којих се неки гаје као декоративне биљке (Ђурић и сар. 2019).

Биолошке особине. На широком подручју источне и југоисточне Азије, род *Miscanthus* има велики број врста. Јавља се на ортосералним травњацима, од тропских и суптропских, преко умјеренотоплих до субарктичких региона. Неколико врста гаје се као декоративне биљке, док је за производњу биомасе погодан природни триплоидни генотип *Miscanthus x giganteus*. Овај интерспецијес триплоидни хибрид цвјета, али не може образovati фертилно сјеме (Janković i sar. 2017).

Мискантус има жиличаст коријенов систем, максималне дубине продирања до 2,5 м. У орничном слоју (до 30 цм) развија се 28% масе корјенова, док се скоро половина корјенова налази у слоју испод 90 цм дубине. Дубље укорјењивање омогућава усвајање минералних хранива и воде из дубоких слојева земљишта, тако да биљке имају интензиван пораст и на земљиштима мање плодности орничног слоја. Ова биљка развија вишегодишња подземна стабла, ризоми, из којих током априла избијају надземна једногодишња стабла, која су чврста, усправна и не полијежу, те која расту 3–4 м високо. Ризоми играју кључну улогу у накупљању хранљивих материја које биљка користи у наредној години за развој нових стабала. Усљед изражене транслокације хранљивих материја ка надземном

дијелу у прољеће, сува маса ризома смањује се до августа, а затим повећава, и на крају вегетационе сезоне достиже вриједност 80% од максимално акумулисане надземне биомасе. Листови су једноставне грађе, лиске су ширине 0,5–1,8 цм, тврде, храпаве и са задебљалим главним нервом. Избијају из кољенаца на стаблима у другој половини априла и појављују се сукцесивно са порастом стабала. Надземна биомаса достиже максималан пораст крајем септембра. Колики ће се број стабала образовати из једног ризома зависи од старости биљака и његове масе. Биљка развија метличасте цвасти, али су цвјетови у њима стерилни (Гламочлија и сар. 2012).

Размножавање мискантуса. Мискантус је вишегодишња биљка која се размножава вегетативно, подземним органима ризомима. Како биљка не образује сјеме, њено ширење по простору је споро и не може се неконтролисано проширити на околне површине. За заснивање засада користе се дијелови ризома са најмање два пупољка (окца). Пораст надземних стабала започиње у прољеће, кад температура земљишта достигне 10–12 °С. Вегетативни развој биљака током године је једноставан. Из ризома током априла избијају надземна стабла, која имају убрзан пораст. Већ у првој години, крајем августа, она нарасту до 2 м. По спољном изгледу веома су слична бамбусовим стаблима, не гранају се, а унутрашњост им је испуњена паренхимом, који образује чврсто језгро (Јанковић и сар. 2017).

Од краја јула почиње одумирање доњих листова, док се процес сушења цјелокупне надземне биомасе убрзава током јесени, када се продукти фотосинтезе премјештају у ризоме. Током зиме са зрелих стабала опадају суви листови и образују дебелу лисну стељу. Листови преостали на стаблу осуше се измрзавањем. Стабла се током зиме исушују под утицајем мразева, тако да садржај воде у њима опада на око 30%. Максималан дневни пораст биљака је током маја и јуна (дневни прираст по биљци је 30–35 г суве масе, односно 0,28–0,32 т ха⁻¹). Током јесени, прираст биомасе се смањује због старења и опадања листова. Интензивнијом минералном исхраном биљака продужава се вегетативни пораст до половине новембра, док се у усјевима без допунске исхране он завршава средином октобра (Гламочлија и сар. 2012).

5.5.1. Услови успијевања мискантуса

Вода. Према искуствима произвођача из Западне Европе и досадашњим резултатима гајења на експерименталним пољима у Србији, биљкама за оптималан развој треба обезбиједити велике количине воде, коју мискантус врло добро користи (Џелетовић и сар. 2006). Високе и стабилне

приносе надземне биомасе могуће је остварити само у условима добре обезбијеђености биљака водом. Иако је ефикасност искоришћења воде већа него код већине усјева, растење биљака често је ограничено у условима неповољног водног режима. Коефицијент искоришћења усвојене воде износи $9,5 \text{ г кг}^{-1}$ суве материје. Иако се наводњавањем усјева ова вриједност смањује на око 9 г кг^{-1} , у условима суше засад би требало заливати, посебно у години заснивања, да би се убрзало растење биљака и повећао интензитет бокорења. За гајење мискантуса најпогоднија су влажнија, дјелимично забарена земљишта, јер на релативно сувим земљиштима изостаје интензивно бокорење биљака. Такође, бољом снабдјевеношћу засада мискантуса водом значајно се повећава ефекат искоришћења употријебљених азотних хранива (Гламочлија и сар. 2012).

Топлота. Топлотни режим је веома значајан за несметано растење и презимљавање биљака током вегетационог, односно зимског периода. У првој години успјешно презимљавање биљака зависи од дубине садње, при чему су посебно осјетљиве плитко посађене биљке са недовољно развијенима ризомима, који често страдају од мразева, али и од великих количина зимских падавина. Ризоми могу stradати уколико су изложени температури од $3,5 \text{ }^\circ\text{C}$. Да би се повећао степен презимљавања засада, треба обавити дубљу садњу, користити веће ризомске одсјечке и током јесени прекрити површину сламом или оставити отпале листове на површини. У каснијим годинама биљке су толерантније на зимске мразеве (Дражић и сар. 2010). Производњу мискантуса у подручјима хладних зима са мало сњежног покривача може ограничити ниска толерантност ризома на мразеве. У таквим условима, требало би се определијелити за форме мискантуса поријеклом из хладнијих и влажнијих климатских услова, које имају већи садржај минералних соли у надземној биомаси и боље подносе мразеве.

Земљиште. Мискантус даје задовољавајуће приносе на земљиштима различитих продуктивних особина – од пјескуша до земљишта са високим садржајем органске материје (Hastings et al., 2008). Толерантан је на широк распон рН, али је његов оптимум између 5,5 и 7,5. За лакшу и безбједнију бербу стабала најбоља су земљишта која нису сувише навлажена током зиме и раног прољећа. Земљиште под мискантусом има повећану концентрацију органског угљеника и укупног азота усљед великих количина листова, коријена и ризома. Запажено је да се у засаду значајно повећавају концентрације органског сумпора, порозност, капацитет измјенљивих катјона и задржавање воде, док се запреминска маса земљишта смањује (Lewandowski and Schmidt 2006).

5.5.2. Основи технологије производње мискантуса

Плодоред. Ова вишегодишња биљна врста гаји се изван плодореда, на засебним површинама, које често и не припадају пољопривредним земљиштима погодним за гајење њивских усјева. На истом земљишту биљке остају око 20 година. Најбољи предусјеви за заснивање ових усјева – засада јесу разоране природне травне површине, једногодишње или вишегодишње лептирњаче, односно усјеви послије којих се може извести конвенционална основна обрада земљишта. Засад мискантуса може се засновати и на земљиштима на којима су искрчене шуме или вишегодишњи засади воћака (Гламочлија и сар. 2012), као и на земљиштима која су у процесу рекултивације (Џелетовић и сар. 2006).

Обрада земљишта. Основну обраду за садњу мискантуса треба прилагодити предусјеву и обавити је током јесени. У зависности од плодности земљишта, требало би заорати одређену количину органских хранива (стајњака или компоста) или сидерата. За разоравање вишегодишњих травних и травно-легуминозних смјеша користе се плугови са претплужњацима, како би се што боље заорала травна површина. Непосредно прије садње приступа се финој површинској припреми земљишта дрљачама, ротокултиваторима или сјетвоспремачима. Припрема се може редуковати на различите начине, на примјер, ротофрезама, којима се могу обрадити само редови садње. На малим површинама, обрада земљишта може се обавити локално, ашовљењем мјеста садње и уситњавањем површине грабуљама (Гламочлија и сар. 2012).

Исхрана биљака. Допунска исхрана има велики значај у производњи мискантуса, посебно зато што је он вишегодишња биљка. Потребне количине главних елемената исхране (NPK) одређују се на основу анализе плодности земљишта и потреба биљака. При заснивању засада на јако сиромашним земљиштима и површинама у рекултивацији требало би заорати 25–30 т ха⁻¹ стајњака (Schwarz et al. 1994). Уколико се не користи стајњак, пострно се може посијати и током јесени заорати неки усјев из групе сидерата. Минерална хранива се у првој години уносе прије садње или послије ницања биљака, а у наредним у вријеме појаве надземних стабала. Количине и однос појединих NPK хранива прилагођавају се потребама биљака и развијености усјева. Прије садње треба унијети по 50 кг ха⁻¹ азота, фосфора и калијума (Гламочлија и сар. 2012). У наредним годинама биљке се прихрањују само азотом, прије избијања надземних стабала.

Садња. Ручна садња изводи се средином априла кад прође опасност од прољећних мразева. За садњу се користе одсјечци ризома дужине 10 цм, са два до три окца. Оптималан број биљака постиже се садњом једног до два

ризом на квадратни метар, тако да је за подизање хектара засада мискантуса потребно око 15.000 ризома. Треба нагласити да гушћа садња има предност у почетним годинама коришћења, али не и касније, кад се биљке снажно избокове. Дубином садње регулишу се развијеност коријеновог система и надземних стабала, али и толерантност биљака на измрзавање. Према Џелетовић и сар. (2006), ризома би требало садити на минималну дубину од 10 цм.

Мјере његе и заштите усјева. У првој години, главне мјере његе су међуредно култивирање и окопавање усјева. Ове радне операције треба започети чим се појаве надземна стабла. Важна мјера његе јесте и наводњавање, посебно у сушном периоду. Уколико се процијени да је почетни пораст биљака успорен, усјев се може прихранити азотом. Током зиме, важна мјера његе је покривање поља сламом ради заштите ризома од измрзавања. У наредној години најважније је механичко сузбијање корова док биљке не препокрију међуредни простор. У каснијим годинама, мјере његе се примјењују само по потреби. Корови се у усјеву могу сузбијати и употребом тоталних хербицида у години заснивања, а у каснијим годинама ово се обавља прије ницања биљака. Према штеточинама и патогенима ова биљка је толерантна, тако да се не примјењује хемијска заштита засада (Јанковић и сар. 2017).

Берба и чување производа. Бербу треба извести током фебруара, односно кад стабла одбаце листове и имају најмање воде (Џелетовић и сар. 2009). Стабла се могу покосити обичним (ротационим) косилицама или силокомбајнима. У земљама Западне Европе користи се механизација специјализована за бербу цијелих стабала ако се она даље користе у индустрији папира, као грађевински материјал или за производњу геотекстила. Уколико се стабла директно користе за сагоријевање у великим котловима термоелектрана, она се могу везивати у снопове или пелетирати за сагоријевање у малим котловима у домаћинству и сл. У првој години, укупни принос надземне биомасе је мали. Већ од друге године принос стабала се повећава, достижући највећу вриједност послје треће године. У годинама максималне продукције може се добити 10–25 т ха⁻¹ стабала са око 30% воде, а у повољним агроеколошким и земљишним условима и око 30 т ха⁻¹. Стабла покошена тракторским косилицама или силокомбајнима везују се у снопове, досушују на пољу, а затим слажу под надстрешнице, гдје се чувају до даље употребе (Џелетовић и сар. 2009). Послије бербе, на њиви остаје и око 3 т ха⁻¹ лисне масе, која се може користити као заштитна покривка против измрзавања ризома или као сировина за справљање вјештачког стајњака – компоста. Све радне операције – од садње ризома, мјере његе и заштите усјева, па до бербе – могу се обавити класичном пољопривредном механизацијом (Гламочлија и сар. 2012).

5.5.3. Употреба мискантуса

Свјежа надземна биомаса биљака мискантуса, покошених у фенофази метличења, служи за добијање биогаса, док се сува балирана стабла без листова могу користити за директно сагоријевање у котловским постројењима (нпр. у термоелектранама) или могу да служе за производњу брикета. Сува стабла мискантуса косе се током зиме, кад са њих, под утицајем мразева, отпадно листови. Послије косидбе стабала, дио листова се скупља и они могу послужити за спремање компоста или, исјецкани, као малч за вишегодишње засаде (Џелетовић и Богдановић, 2002).

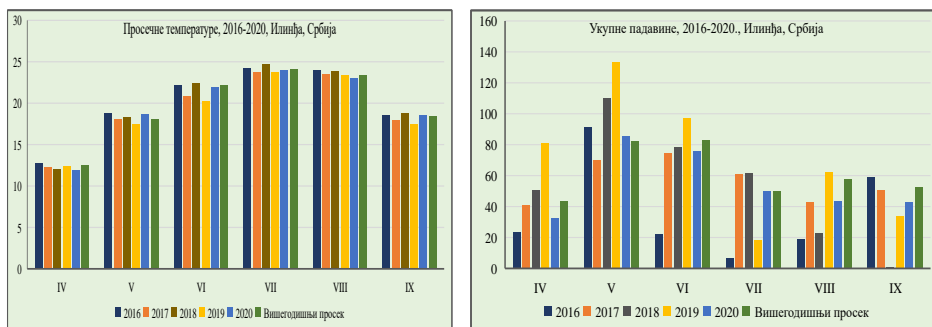
Мискантус је веома интересантан сировински материјал за производњу целулозне пулпе, због високог приноса, малих трошкова одржавања и високих садржаја целулозе и хемицелулозе. Пулпа мискантуса добијена СТМР процесом пулпирања одговарајућа је за појачавање рециклаже влакана и за обезбјеђивање механичких одлика папира који садрже секундарна влакна (Cappelletto et al. 2000), а његова семихемијска пулпа може бити веома корисна и за процес производње картона (Marín et al. 2009).

У Источној Азији уобичајено је коришћење стабала мискантуса повезаних у снопове за прекривање кровова. У ту сврху, онедавно се и у Европи подстиче коришћење стабала мискантуса (Fowler et al. 2003). Такође, производња структурних бетонских елемената у којима се користе биљна влакна мискантуса постаје веома интересантна. Према резултатима које наводи Asikel (2011), коришћењем мљевеног мискантуса као адитива бетону повећава се чврстоћа бетона на притисак (за 4%–28%), на сабијање (за 9%–25%) и савијање (за 4%–9%), а када се мљевени мискантус угради у смјешу за греде, као ојачање, повећава се његова чврстоћа на савитљивост за 2%–6%.

Мискантус, као вишегодишња трава, редукује ризик од ерозије земљишта (Heaton et al. 2004) и у одговарајућем степену повећава садржај земљишног угљеника и биодиверзитет (Lewandowski and Schmidt 2006). Ниже концентрације кадмијума (< 0,75 мг Cd/л хранљивог раствора) стимулишу раст мискантуса (Arduini et al. 2004), што га препоручује и за фиторемедијацију, тј. коришћење као биљке за уклањање кадмијума из пољопривредних земљишта, ради смањења ризика од контаминације других усјева и засада овим тешким металом.

Предност коришћења мискантуса за производњу биогорива у односу на друге ратарске биљке јесте већи принос и већа количина добијеног горива по јединици површине, док се, с друге стране, не смањује свјетска производња хране јер ова врста мало учествује у укупним свјетским површинама на којима

се гаји храна биљног поријекла. Осим тога, послије процеса добијања биогаса остају велике количине биомасе која се може користити на више начина. Најчешћи начин је да се она разбацује по њивама и заорава са жетвеним и другим органским остацима ради повећања плодности земљишта. Такође, ова биомаса може послужити и за справљање компоста или глистењака, али и као малч за покривање међуредног простора у широкоредним усјевима. Уколико се надземна биомаса користи за припрему чврстих горива, брикета или пелета, послије сагоријевања у котловским постројењима остаје pepeo који је богат калијумом и калцијумом. Најцјелисходније је ову масу разбацати по површини и орањем унијети у земљиште.



Граф. 5.3. Просјечне температуре (°C) (лијево) и падавине (мм) (десно) током петогодишњег периода (2016–2020) на подручју Илиндје, Србија
 Graph 5.3. Average temperatures (°C) (left), and precipitation (mm) (right) 2016–2020 (Ilindja, Serbia)

Таб. 5.1. Принос биомасе мискантуса ($t\ ha^{-1}$) на гајњачи и деградираном земљишту у петогодишњем периоду (2016–2020)
 Tab. 5.1. Miscanthus biomass yield ($t\ ha^{-1}$) the brown forest soil and degraded land (2016–2020)

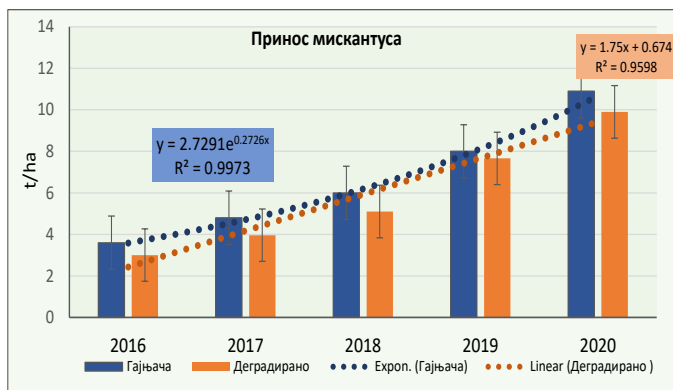
Земљиште	Година					Просјек
	2016.	2017.	2018.	2019.	2020.	
Гајњача	3,6	4,8	6,0	8,0	10,9	5,06
Деградирано	3,0	3,96	5,1	7,66	9,9	5,92
Просјек	3,3	4,38	5,55	7,83	10,4	6,29

Метеоролошки услови и примијењена технологија гајења у значајној мјери утичу на продуктивност мискантуса (Glamočlija et al. 2011; Glamočlija i sar. 2015; Поповић 2015; Dražić et al. 2016; Ikanović et al. 2011, 2013, 2016; Ikanović i sar. 2012, 2015, 2019; Икановић и сар. 2015; Živanović et al. 2014; Marišova et al. 2016; Rakašćan et al. 2019a, 2019b; Božović et al. 2018, 2020;

Роровић et al. 2020, 2021). У промјењивом петогодишњем периоду, температуре и падавине биљежиле су велика варирања (Граф. 5.3).

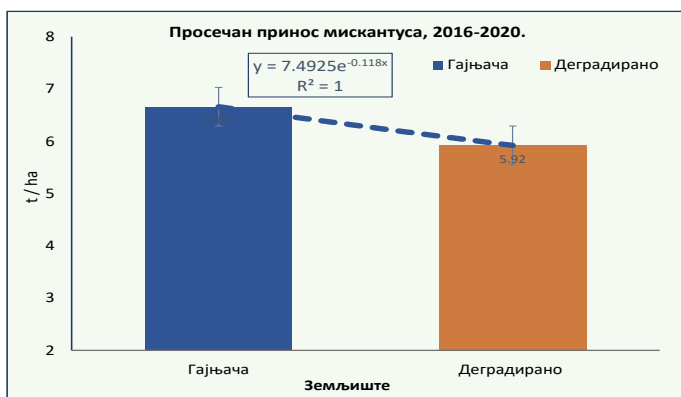
Падавине и температуре током вегетационог периода имају велики утицај на висуну приноса мискантуса. Према Heaton et al. (2004), годишњи принос мискантуса варира од 15 до 25 т ха⁻¹, садржај воде од 15% до 20%, а енергетски учинак од 260 КЈ ха⁻¹ до 440 КЈ ха⁻¹ (Граф. 5.1).

У петогодишњим истраживањима, принос мискантуса на гајњачи био је већи за 11,49% у односу деградирано земљиште (Таб. 5.1, Граф. 5.4. и 5.5).



Граф. 5.4. Принос мискантуса (т ха⁻¹) на гајњачи и деградираном земљишту у петогодишњем периоду (2016–2020) (Илинђа, Србија)

Graph 5.4. Miscanthus yield (t ha⁻¹) on the brown forest soil and degraded land, 2016–2020 (Ilindja, Serbia)



Граф. 5.5. Просјечан принос мискантуса (т ха⁻¹) на гајњачи и деградираном земљишту у петогодишњем периоду (2016–2020) (Илинђа, Србија)

Graph 5.5. Average miscanthus yield (t ha⁻¹) on the brown forest soil and degraded land, 2016–2020 (Ilindja, Serbia)

5.6. Економска исплативост брзорастућих енергетских биљака

Према резултатима Џелетовића и сар. (2006), за потпуно успостављање плантажа под мискантусом и постизање максималне стопе приноса потребно је 3–6 година. Укупни жетвени приноси у другој години од заснивања могу достићи вриједности од 6–10 т ха⁻¹, а у трећој години и до 12–17 т ха⁻¹ или више. Жетвени приноси достижу максимум након 3–5 година, при чему вриједности годишњих приноса могу бити и до 20 т ха⁻¹ год⁻¹.

Економичност производње. Улагања у производњу ове вишегодишње биљке нису велика, а може се гајити на различитим типовима земљишта. У годинама максималне фотосинтетске активности (од друге до седме) мискантус има годишњи прираст дрвне масе скоро као и шумски засади. Произведена биомаса може се као енергент искористити на више начина. Најједноставнији начин је сагоријевање осушене (цијеле или брикетиране) биомасе у котловским постројењима, док се сложенијим технолошким поступком из целулозе добија етанол за производњу течних биогорива.

Препоруке за производњу мискантуса. У нашим агроеколошким условима производња мискантуса може бити рентабилна јер се може гајити на земљиштима која нису погодна за већину ратарских биљака (Јанковић и сар. 2017). Биомаса је највећи обновљиви извор енергије, а наша земља спада у врх европских земаља по количини расположиве, а неискоришћене биомасе. Технологије за њено коришћење су расположиве и еколошки прихватљиве.

5.7. Закључак

Интензиван технолошки развој заснива се, између осталог, и на сталном подмиривању растућих потреба у храни и енергентима. Исцрпљивање извора фосилних горива, као и раст њихових цијена, узроковали су спровођење низа истраживања која имају за циљ изналажење алтернативних енергетских извора. У земљама ЕУ, економика биоенергије зависи од финансијских субвенција код свих врста енергетских усјева, осим код директног сагоријевања биомасе за топлотну енергију. Употреба биљака због енергије у ЕУ неће битно смањити производњу биљака за храну, али зато може утицати на повећање цијена пољопривредних производа. Може се очекивати да ће се приходи од пољопривреде у будућности повећавати, јер је пољопривреда све више повезана са развојем цијена примарне енергије, тј. може се очекивати да ће повећање цијена енергије повећати цијене пољопривредних производа. Биомаса је највећи обновљиви извор енергије, а Република Српска, Босна и

Херцеговина и Србија спадају у врх европских земаља по количини расположиве, а неискоришћене биомасе. Технологије за њено коришћење расположиве су и еколошки прихватљиве.

Захваљујући свестраној примјени, шпанска трска представља биљну врсту која својом биомасом може синтетисати значајну количину органске материје. Она се једноставним технолошким поступком може искористити као кабаста сточна храна или као енергент којим ће се значајно подмирити потребе за енергијом из обновљивог извора и смањити трошење фосилних горива.

Свјежа надземна биомаса биљака мискантуса покошених у фенофази метличења служи за добијање биогаза, док се сува балирана стабла без листова директно сагоријевају у котловским постројењима или служе за производњу брикета. Осим тога, мискантус је веома интересантан сировински материјал за производњу целулозне пулпе, због високог приноса, малих трошкова одржавања и високих садржаја целулозе и хемицелулозе. У Источној Азији уобичајено је коришћење стабала мискантуса повезаних у снопове за сламнате кровове. У ту сврху, онедавно се и у Европи подстиче коришћење стабала мискантуса.

Литература

- Azarpour A, Suhaimi S, Zahedi G, Bahadori A (2013) A Review on the Drawbacks of Renewable Energy as a Promising Energy Source of the Future. *Arabian Journal for Science and Engineering* 38:317–328
- Anatolioti V, Leontopoulos S, Skoufogianni G, Skenderidis P (2019) A Study on the Potential Use of Energy Crops as Alternative Cultivation in Greece. *Issues of Farmer's Attitudes. International Conference on Food and Biosystems Engineering*, 30/05–02/06/2019, Crete island, FaBE2019 145
www.researchgate.net/publication/335338755. Available on 20/04/2021
- Arduini I, Masoni A, Mariotti M, Ercoli L (2004) Low cadmium application increase miscanthus growth and cadmium translocation. *Environmental and Experimental Botany* 52(2):89–100
- Acikel H (2011) The use of miscanthus (*Giganteus*) as a plant fiber in concrete production. *Scientific Research and Essays* 6(13):2660–2667
- Babović NV, Dražić GD, Đorđević AM (2012) Mogućnosti korišćenja biomase poreklom od brzorastuće trske *Miscanthusxgiganteus*. *Hem Ind* 66(2):223–233
- Balijan D (2017) Varijabilnost crne topole (*Populus nigra* L.) i njeno očuvanje u Bosni i Hercegovini. *Šumarski fakultet Univerziteta u Sarajevu*, str 1–201
- Bell G (1997) Ecology and management of *Arundo donax*, and approaches to riparian habitat restoration in Southern California. In: Brock JH, Wade M, Pysek P,

- Green D (eds) *Plant Invasions: Studies from North America and Europe*. Blackhuys Publishers, Leiden, The Netherlands, pp 103–113
- Bentsen NS, Felby C (2012) Biomass for energy in the European Union - a review of bioenergy resource assessments. *Biotechnol Biofuels* 5:25. doi.org/10.1186/1754-6834-5-25
- Božović D, Živanović T, Popović V, Tatic M, Gospavić Z, Miloradović Z, Stanković G, Đokić M (2018) Assessment stability of maize lines yield by GGE-biplot analysis. *Genetika* 50(3):755–770
- Božović D, Popović V, Rajičić V, Kostić M, Filipović V, Kolarić Lj, Ugrenović V, Spalević V (2020) Stability of the expression of the maize productivity parameters by AMMI models and GGE-biplot analysis. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca* 48(3):1387–1397
- Borina M, Barbera AC, Milani M, Molari G, Zimbonee SM, Toscanoc A (2013) Biomass production and N balance of giant reed (*Arundo donax* L.) under high water and N input in Mediterranean environments. *Europ J Agronomy* 51:117–119
- Beckman J, Allison B, Carol AJ (2013) *Agriculture's Supply and Demand for Energy and Energy Products*. EIB-112, US Department of Agriculture, Economic Research Service. www.ers.usda.gov/webdocs/publications/43756/37427_eib112.pdf. Available on 20/04/2021
- Volaire F, Barkaoui K, Norton M (2014) Designing resilient and sustainable grasslands for a drier future: Adaptive strategies, functional traits and biotic interactions. *Eur J Agron* 52:81–89
- Glamočlija Đ, Janković S, Maletić R, Rakić S, Ikanović J, Lakić Ž (2011) Effect of nitrogen and mowing time on the biomass and the chemocal composition of Sudanose grass, foder sorghum and their hybrid. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry* 35(2):127–138
- Glamočlija Đ, Ikanović J (2012) Čuvanje ratarskih proizvoda. Univerzitet u Beogradu, Poljoprivredni fakultet, str 1–126
- Гламочлија Ђ, Јанковић С, Пивић Р (2012) Алтернативна жита – привредни значај, услови успевања, врсте и агротехника. Монографија. Институт за земљиште, Београд, стр 1–107
- Glamočlija Đ, Janković S, Popović V, Kuzevski J, Filipović V, Ugrenović V (2015) Alternativne ratarske biljke u konvencionalnom i organskom sistemu gajenja. Monografija. Univerzitet u Beogradu, Poljoprivredni fakultet, str 1–355
- Decruyenaere JG, Holt JS (2005) Ramet Demography of a Clonal Invader, *Arundo donax* (Poaceae), in Southern California. *Plant and Soil* 277:41–52
- Дражић Г, Миловановић Ј, Икановић Ј, Гламочлија Ђ (2010) Утицај агроеколошких чинилаца на продукцију биомасе мискантуса (*Miscanthus giganteus*). Архив за пољопривредне науке 71:81–85
- Dražić G, Vitas A, Ikanović J (2014) Energetski bilans produkcije agroenergetskog useva *Miscanthus giganteus* na plodnom i degradiranom zemljištu. *Energija, ekonomija i ekologija* 16(1–2):224–230

- Dražić G, Popović V, Ikanović J, Vučković S, Živanović Lj, Tatić M, Kolarić Lj (2016) Productivity biomass agro-energy crops – sorghums – tolerant by environmental conditions. International Scientific Conference Agro-energy for Sustainable Agriculture and Rural Development. Slovak University of Agriculture in Nitra, Faculty of European Studies and Regional Development, pp 9–15
- Dražić G, Milovanović J, Ikanović J, Petrić I (2017) Influence of fertilization on *Miscanthus x giganteus* (Greef et Deu) yield and biomass traits in three experiments in Serbia. *Plant Soil and Environment* 63:189–193
- Ђурић Н, Гламочлија Ђ, Поповић В, Ђуровић М, Јововић З, Табаковић М, Младеновић Гламочлија М (2019) Морфолошке и продуктивне особине мискантуса у променљивом водном режиму. Зборник радова Института ПКБ Агроекономик 25(1–2):89–98
- Živanović Lj, Ikanović J, Popović V, Simić D, Kolarić Lj, Maklenović V, Bojović R, Stevanović P (2014) Effect of planting density and supplemental nitrogen nutrition on the productivity of miscanthus. *Romanian Agricultural Research* 31:291–298
- Ikanović J, Glamočlija Ђ, Maletić R, Popović V, Sokolović D, Spasić M, Rakić S (2011) Path analysis of the productive traits in *Sorghum* species. *Genetika* 43(2):253–262
- Ikanović J, Janković S, Dražić G, Lakić Ž, Tošić I, Rakić S, Veljović T (2012) Značaj gajenja mискантуса (*Miscanthus x giganteus*) u integralnoj zaštiti bilja kao potencijalnog bioenergetskog useva na području Republike Srpske. IX Simpozijum o zaštiti bilja u BiH, Teslić, Zbornik radova, str 114–115
- Ikanović J, Popović V, Trkulja V, Živanović Lj, Lakić Ž, Pavlović S (2013) Morphological characteristics of the interspecies hybrid between sorghum and sudan grass under intensive nitrogen nutrition. *Genetika* 45(1):31–40
- Ikanović J, Dražić G, Popović V, Rajić Z (2015) Bioenergetski izazov i efikasno korišćenje resursa zemljišta. *Energija, ekonomija i ekologija* 17(1–2):96–102
- Икановић Ј, Живановић Љ, Коларић Љ (2015) Агроенергетски усеви у служби екоремедијације. У: Миловановић Ј, Ђорђевић С (уредници) Очување и унапређење биолошких ресурса у служби екоремедијације. Монографија. Универзитет Сингидунум, Београд, Факултет за примењену екологију, стр 193–262
- Ikanović J, Popović V, Janković S, Dražić G, Živanović Lj, Lakić Ž, Tatić M, Savić J (2016) Productivity hexaploid wheat spelt – *Triticum aestivum* spp. *spelta* grown on degraded soil. Book of Proceedings of the VII International Scientific Agriculture Symposium “Agrosym 2016”, pp 996–1004
- Ikanović J, Popović V, Janković S, Živanović Lj, Kolarić Lj, Lončar M, Kulić G, Dražić N (2019) Sekundarni proizvodi žita kao energenti. Zbornik naučnih radova Instituta PKB Агроекономик 25(1–2):99–110
- Janković S, Glamočlija Ђ, Prodanović S (2017) Energetski usevi – tehnologija proizvodnje i prerade. Institut za primenu nauke u poljoprivredi, Beograd, str 1–272
- Јањић В, Пржуљ Н (2020) Глобални природни фактори који ограничавају биљну производњу. У: Пржуљ Н, Тркуља Б (уредници) Од генетике и спољне

- средине до хране. Академија наука и умјетности Републике Српске, Бања Лука, Монографија LXI:1–33
- Koruba D, Piotrowski JZ, Latosińska J (2016) Biomass - alternative renewable energy source to the fossil fuels. E3S Web of Conferences 14:02015. doi:10.1051/e3sconf/20171402015
- Kresović B, Ikanović J, Rajić Z, Tapanatova A, Popović V, Dražić G (2016) Kanarska trava kao isplativ i cenjen energent budućnosti. *Energija, ekonomija i ekologija* 18(1–2):141–147
- Lewandowski I, Scurlock JMO, Lindvall E, Christou M (2003a) The development and current status of perennial rhizomatous grasses as energy crops in the US and Europe. *Biomass and Bioenergy* 25(4):335–361
- Lewandowski I, Scurlock JMO, Christou M (2003b) The development and current status quo of production of perennial rhizomatous grasses as energy crops in Europe and the United States. In: Faaij A (ed) *Contributions to the 12th European Biomass Conference, Utrecht University/Copernicus Institute/Science Technology and Society, Utrecht*, pp 56–59
- Lewandowski I, Schmidt U (2006) Nitrogen, energy and land use efficiencies of miscanthus, reed canary grass and triticale as determined by the boundary line approach. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 112(4):335–346
- Lingayata AB, Chandramohana VP, Rajua VRK, Medab V (2020) A review on indirect type solar dryers for agricultural crops – Dryer setup, its performance, energy storage and important highlights. *Applied Energy* 258:114005
- Ma W, Chen G (2019) *Bioenergy and Environment. Waste and Biomass Valorization* 10:3843
- Marín F, Sánchez JL, Arauzo J, Fuertes R, Gonzalo A (2009) Semichemical pulping of *Miscanthus giganteus*. Effect of pulping conditions on some pulp and paper properties. *Bioresource Technology* 100(17):3933–3940
- Marišová E, Milovanović J, Đorđević S, Jereková Z, Dražić G, Hauptvogel M, Prčik M, Mariš M, Kortla M, Fandel P, Ilkova Z, Gaduš J, Popović V, Ikanović J, Živanović Lj, Radojević U, Kováčik M, Mandalová K (2016) Agro-energy for sustainable agriculture and rural development. Good practices from Slovakia-Serbia bilateral cooperation. Singidunum University, Belgrade, Faculty of applied ecology. Monograph, pp 1–291
- Markandya Anil, Setboonsarng S (2008) *Organic Crops or Energy Crops? Options for Rural Development in Cambodia and the Lao People's Democratic Republic*. ADBI Discussion Paper 101. Tokyo: Asian Development Bank Institute. Available: <http://www.adbi.org/discussion-paper/2008/04/11/2523.organic.crops.energy.crops/.20/04/2021>
- Mitchell RB, Schmer MR, Anderson WF, Jin V, Balkcom KS, Kiniry J, Coffin A, White P (2016) Dedicated Energy Crops and Crop Residues for Bioenergy Feedstocks in the Central and Eastern USA. *BioEnergy Research* 9:384–398

- Pervanchona F, Bockstaller BC, Girardin P (2002) Assessment of energy use in arable farming systems by means of an agro-ecological indicator: the energy indicator. *Agricultural Systems* 72(2):149–172
- Perera F (2017) Pollution from Fossil-Fuel Combustion is the Leading Environmental Threat to Global Pediatric Health and Equity: Solutions Exist *Int J Environ Res Public Health* 15:16. doi:10.3390/ijerph15010016
- Pehlken A, Wulf K, Grecksch K, Klenke T, Tsydenova N (2020) More Sustainable Bioenergy by Making Use of Regional Alternative Biomass? *Sustainability* 12:7849. doi:10.3390/su12197849
- Pilu R, Bucci A, Badone FC, Landoni M (2012) Giant reed (*Arundo donax* L.): A weed plant or a promising energy crop? *African Journal of Biotechnology* 11(38):9163–9174
- Pilu R, Manca A, Landoni M (2013) *Arundo donax* as an energy crop: pros and cons of the utilization of this perennial plant. *Maydica* 58(1):54–59
- Поповић В (2015) Појам, подела и значај биолошких ресурса у пољопривреди. У: Миловановић Ј, Ђорђевић С (уредници) *Очување и унапређење биолошких ресурса у служби екоремедијације. Монографија. Универзитет Сингиднум, Београд, Факултет за примењену екологију, стр 29–50*
- Popović V, Vučković S, Jovović Z, Ljubičić N, Kostić M, Rakašćan N, Glamočlija-Mladenović M, Ikanović J (2020) Genotype by year interaction effects on soybean morpho-productive traits and biogas production. *Genetika* 52(3):1055–1073
- Rakašćan N, Dražić G, Živanović Lj, Ikanović J, Jovović Z, Bojović R, Popović V (2019a) Effect of genotypes and locations on wheat yield components. *Agriculture & Forestry* 65(1):233–242
- Rakašćan N, Popović V, Dražić G, Ikanović J, Popović S, Popović B, Milanović T (2019b) Circular economy in function of obtaining the biogas. XXIII International Eco-Conference 2019 and XIII Environmental Protection of Urban and Suburban, Novi Sad, Settlements, pp 320–329
- Rahman S (2007) Alternative Energy Sources: The Quest for Sustainable Energy. *IEEE Power and Energy Magazine* 5(2):82–83. doi:10.1109/MPAE.2007.329198
- Samarina V, Skufina T, Samarin A, Ushakov D (2018) Alternative Energy Sources: Opportunities, Experience and Prospects of the Russian Regions in the Context of Global Trends. *International Journal of Energy Economics and Policy* 8(2):140–147
- Silva CFL, Schirmer MA, Maeda RN, Barcelos CA, Jr NP (2015) Potential of giant reed (*Arundo donax* L.) for second generation ethanol production. *Electron J Biotechnol* 18(1). *Versión On-line* ISSN 0717-3458. doi.org/10.1016/j.ejbt.2014.11.002
- Stajić B (2016) Energetski zasadi brzorastućih vrsta drveća u Srbiji: produkcija biomase, legislativa, tržište i uticaji na životnu sredinu- potencijali i ograničenja. *Biomasa – energija svuda oko nas*, str 1–78. ISBN 978-86-7728-257-8
- Scordia D, Cosentino SL (2019) Perennial Energy Grasses: Resilient Crops in a Changing European Agriculture. *Agriculture* 9:169. doi:10.3390/agriculture9080169

- Schwarz H, Liebhard P, Ehrendorfer K, Ruckebauer P (1994) The effect of fertilization on yield and quality of *Miscanthus sinensis* 'giganteus'. *Industrial Crops and Products* 2:153–159
- Tomei J, Helliwell R (2016) Food versus fuel? Going beyond biofuels. *Land Use Policy* 56:320–326
- Fowler PA, McLaughlin AR, Hall LM (2003) The potential industrial uses of forage grasses including miscanthus. *BioComposites Centre, University of Wales, Bangor*, pp 1–40
- Hastings A, Clifton-Brown J, Wattenbach M, Stampfl P, Mitchell CP, Smith P (2008) Potential of *Miscanthus* grasses to provide energy and hence reduce greenhouse gas emissions. *Agronomy for Sustainable Development* 28(4):465–472
- Heaton E, Voigt T, Long SP (2004) A quantitative review comparing the yields of two candidate C4 perennial biomass crops in relation to nitrogen, temperature and water. *Biomass and Bioenergy* 27(1):21–30
- Cappelletto P, Mongardini F, Barberi, B, Sannibale M, Brizzi M, Pignatelli V (2000) Papermaking pulps from the fibrous fraction of *Miscanthus × giganteus*. *Industrial Crops and Products* 11(2–3):205–210
- Ciaian P, Kancs d'A (2011) Interdependencies in the energy–bioenergy–food price systems: A cointegration analysis. *Resource and Energy Economics* 33(1):326–348
- Corno L, Pilu R, Adani F (2014) *Arundo donax* L.: A non-food crop for bioenergy and bio-compound production. *Biotechnology Advances* 32:1535–1549
- Christou M, Mardikis M, Alexopoulou E. (2001) Propagation material and plant density on the *Arundo donax* yields. In: Kyritsis S, Beenackers AACM, Helm P, Grassi A, Chiaramonti D (eds) *Biomass for Energy and Industry: Proceeding of the First World Conference, Sevilla, Spain, 5–9 June 2000*. James & James, London, pp 1622–1628
- Fernando AL, Boléo S, Barbosa B, Costa J, Duarte MP, Monti A (2015). Perennial Grass Production Opportunities on Marginal Mediterranean Land. *Bioenergy Res* 8:1523–1537
- Heritage Giant Miscanthus (2021) Fox Hollow Farms. www.heritagemiscanthus.com. Available on 15/04/2021
- Џелетовић Ж, Богдановић М (2002) Примјена пепела у пољопривреди. У: Elektra II – ISO 14000. Друга међународна конференција о управљању заштитом животне средине у електропривреди, Тара, 10-14. јун 2002. Форум квалитета, Београд, стр 375–379
- Џелетовић Ж, Дражић Г, Благојевић С, Михаиловић Н (2006) Специфични агротехнички услови гајења мискантуса. *Пољопривредна техника* 31(4):107–115
- Џелетовић Ж, Михаиловић Љ, Гламочлија Ђ, Дражић Г, Ђорђевић С, Миловановић М (2009) Жетва и складиштење *Miscanthus x giganteus* Greef et Deu. *Пољопривредна техника* 34(3):9–16

Biomass production from energy and fast growing plants

Jela Ikanović, Vera Popović, Dalibor Dončić, Vojislav Trkulja

Summary

The agro-ecological and soil conditions of the Republic of Srpska provide the possibility of growing many agro-energy crops, which represent a great chance for agricultural producers who own lands with less favorable physical and chemical properties. The production and spreading of bioenergy crops have been exposed to sharply critics and suspicion for their economic justification. The basic problem is the identification of the most suitable biomass and the projecting of the process by which the energy from it should be extracted.

Using the produced biomass would significantly reduce the consumption of fossil fuels, which Serbia and Republic of Srpska have in limited quantities. The great genetic potential of fertility has classified miscanthus in the group of the most important bio-energetic crops. By introducing these predominantly perennial plants into production, with slightly higher investments in the year of establishment and significantly less in the years of use, uncultivated agricultural land could be used and also the most non-agricultural areas and deposesoles could be bring to purpose. Fresh above-ground biomass of miscanthus and Spanish reed plants, mowed in the panicle phenophase, is used to obtain biogas, while dry baled stalks without leaves are burned directly in cauldron plants (for example in thermal power plants) or used for the production of briquettes.

The advantage of using miscanthus and Spanish reed for bio-fuel production compared to other field plants is their higher yield and higher amount of fuel obtained per unit area and, on the other hand, quantity of world food production is not reduced, because this species participates little in world needs for food of plant origin.

Keywords: Bioenergy crops, biomass and biofuels, fossilium fuels, Spanish reed, miscanthus, marginal soils

