

<http://dx.doi.org/10.7251/ZRRF2401089M>

ПОТЕНЦИЈАЛ ТЕХНОГЕНОГ ЗЕМЉИШТА РУДАРСКИХ БАСЕНА РЕПУБЛИКЕ СРПСКЕ У ПРОИЗВОДЊИ БИОЕНЕРГИЈЕ

Ненад Малић¹, Уна Матко², Миладин Трбић³

e-mail: nenad.malic@eft-stanari.net

1,3-ЕФТ Рудник и термоелектрана Станари, Република Српска, БиХ
2-EFT Trade Београд, Република Србија

Апстракт

Енергија је неизоставна потреба данашњих и будућих поколења, и приоритет је, заједно са храном у свим земљама свијета. На основу реалног смањења класичних извора енергије, затим повећаних еколошких захтијева, значај обнољивих извора енергије је на високом нивоу. У важне изворе обновљиве енергије налази се и енергија из биомасе. Посебан модел и извор бионергије представљен је гајењем намјенских енергетских култура. У томе се издвајају шумски засади кратке опходње и група енергетских трава. Истраживање обухвата општу анализу и основне производне резултате основних енергетских култура (брзорастуће тополе, врбе, мискантус), при њиховом гајењу у процесу рекултивације. Нарочит потенцијал за њихово плантажирање налази се у земљиштима умањене плодности (пољопривредна земљишта нижих бонитетних класа, и акценат на класи техногених земљишта). У класи техногених земљишта за ову намјену коришћења издвајају се сљедећи типови: депосол, рекултисол, и цинересол, односно површине које се формирају током експлоатације минералних сировина и рада термоелектрана. Нарочито су интересантни већи рударски басени (површински копови угља, жељезне руде, боксита и др). Површина техногеног земљишта у Републици Српској као основног ресурса за организовање енергетског плантажирања процјењује се од 6.000 до 8.000 ха. Плантажирањем енергетских засада истовремено би се остварили вишеструки ефекти: рекултивација деградираног земљишта, продукција и кружење органске материје, ниске концентрације емисија при сагоријевању, трајност обновљивог извора енергије.

Кључне ријечи: депосол, рекултисол, енергетски засади, биомаса, рекултивација, ремедијација

Тема скупа: Рударство у интеракцији са заштитом животне средине

Увод - потенцијал рударских басена за производњу биоенергије

Усљед неопходних потреба за умањењем, санацијом или цјелокупном ревитализацијом простора формираног рударским активностима, примјењује се скуп мјера на заштити животне средине, у које улази и рекултивација новоствореног техногеног земљишта. Само провођење рекултивације, прво

као пост-експлоатационо а потом и пост-рекултивационо коришћење техногеног земљишта треба да се заснива на ширем сагледавању укупних могућности и потреба коришћења таквог простора, које наравно подразумева и друге факторе у окружењу (социјалне, привредне, културолошке и др). Ово се наводи као реални потенцијал наставка коришћења лежишта минералних сировина и техногеног земљишта (формирана одлагалишта јаловинског материјала, остале завршне контуре површинских копова, одлагалишта пепела из термоелектрана), као основни ресурс у производњи енергије из биљне масе, тј. биоенергије.

Подаци о простору захваћеног рударским радовима, и пратећим дијеловима у Републици Српској су доста варијабилни, како у односу на величину укупних површина, тако и на врсте појединих рударских цјелина, формираних техногених земљишта, интензитет деградације и степен рекултивације (Малић, 2015). Међу првим проучавањима рекултивације техногених земљишта већих рударских басена Републике Српске, Малић и сар. (2010) за укупно пет рудних лежишта (гатачки, угљевички, станарски угљени басен, љубијска металогенетска област, и лежиште боксита Милићи) износе површину од 2.741 ха. Развојем површинских копова повећавају се и површине под техногеним земљиштима. Према подацима Министарства енергетике и рударства у Влади Републике Српске површина земљишта обухваћена лежиштима минералних сировина на којима је одобрена експлоатација износи 8.375 ха (Влада РС, 2020). Величина под отвореним коповима угља (превасходно обухватајући станарски, угљевички и гатачки басен), као и површина земљишта заузета одлагалиштима одложеног и депонованог јаловинског материјала износи 2.075 ха, мада је ова вриједност реално знатно већа. Тако нпр. сама укупна површина угљеног басена Станари, са површинским коповима Рашковац, Остружња и зоном Драгаловци на крају вијека експлоатације износиће око 2.000 ха (Институт за заштиту и екологију РС, 2022а; Рударски институт БЛ, 2022; Институт за заштиту и екологију РС, 2022б). Дио угљеног басена Гацко, обухват п.к. Грачаница – Гацко (заједно са пољем Ц) покрива нешто преко 800 ха (Рударски институт БЛ, 2014). Даље, површина заузета рударским радовима на експлоатацији жељезне руде у Љубијској металогенетској области износи 2.183 ха. Експлоатација неметаличних минералних сировина (са доминацијом техничког и архитектонског грађевинског камена, лежишта глина и др) на простору Републике Српске обухвата површину од преко 1.600 ха. На приказане вриједности треба посебно додати постојање нелегалне експлоатације минералних сировина, те експлоатацију шљунка и пијеска уз ријечна корита, као и процјену око 1.000 ха земљишта у зони лежишта која су у фази геолошких истраживања и пројектовања рударских радова (Малић, 2023). Каповић-Соломун и Марковић (2022) наводе да тренутна површина

заузета рудницима и депонијама износи нешто више од 4.200 ха, односно 0,17% према главним категоријама коришћења земљишта у Републици Српској (Corine Land Cover, 2018).

Начела биоенергије као облика обновљивог извора енергије

Основна заједничка особина свих облика обновљиве енергије је да се иста добија управо из природних процеса који се константно обнављају. Према Закону о обновљивим изворима енергије (Сл. гл. РС, бр. 39/13), један од извора обновљиве енергије управо је енергија која се добија из биомасе.

Биоенергија настаје из органског материјала који примарно могу бити биљног и животињског (анималног) поријекла, и најчешће се добија из свјеже биомасе. Младеновић и сар. (2022) наводе да управо највећи потенцијал обновљиве енергије у Републици Србији заузима биомаса, којој припада око 63% од укупног потенцијала обновљиве енергије, од чега 60% припада пољопривредној биомаси, док се на шумску односи 40%. Биомаса (органска материја биљног поријекла) је материја која се користи у процесима сагоријевања или се конвертује у системима за производњу енергије (топлотне и електричне). Према директиви ЕУ (2003/30/ЕС) биомаса је био-разградива фракција производа, отпада и остатака из пољопривреде (укључујући биљну и животињску материју), шумарства и дрвне индустрије, као и био-разградиве фракције из различитих категорија отпада, чије је коришћење у енергетици допуштено.

Неке основне предности биоенергије/биомасе у цјелини, у односу на фосилна горива јесу сљедеће:

- већа расположивост, како са аспекта искоришћења већ постојећих биљних заједница, затим могућност намјенске производње биомасе, и коришћења осталих фракција биолошког поријекла;
- неупоредиво мања емисија штетних гасова (процјењује се да је оптерећење атмосфере од CO₂ при коришћењу биомасе као горива занемарљиво, будући да је количина CO₂ настала сагоријевањем једнака количини CO₂ коју биљке апсорбују током свога раста и развоја);
- нижа цијена, при чему је цијена биомасе нижа у односу на цијену фосилног горива;
- социјални и други аспекти погодности оваквог начина производње и коришћења обновљиве енергије на домаћем простору а и шире.

Извори биомасе као енергента

Биомаса као засебна група обновљивих облика енергије представља биоразградиви дио различитих производа, остатака, као и отпада из пољопривредне производње, шумарства, њихових сродних и пратећих индустрија, комуналног сектора и сл. Биомаса у биолошком смислу дефинише количину живе материје биљака и животиња изнад и испод површине земље и воде у одређеном временском периоду по јединици површине (Pellinen, 1984). Главни извори биомасе имају велики потенцијал у окружењу, као што су: биоценозе спонтаних популација, пољопривредна производња, шумарство, прерада дрвета. Основни начин подјеле извора биогорива биљног поријекла приказан је на шеми испод.



Слика 1 Шематски приказ основних извора биогорива биљног поријекла

Када је у питању реално коришћење биомасе биљног поријекла, исто се у садашњем времену најчешће реализује на два основна начина:

- 1) намјенским гајењем биљака за производњу енергије, и
- 2) коришћењем биљних остатака из редовне биљне производње (биљни остаци у пољопривреди и шумарству).

Циљ рада усмјерен је на упознавање могућег коришћења техногеног земљишта постојећих рудника са пратећом инфраструктуром у Републици Српској за производњу биоенергије гајењем за то намјенских биљних врста. Класа техногеног земљишта у овом домену обухвата сљедеће типове: депосол, рекултисол и цинеросол (Ресуловић и сар., 2008).

Постоји велики број биљака које имају способност конверзије соларне енергије у биомасу са великом ефикасношћу, укључујући зељасте једногодишње и вишегодишње усјеве, брзорастуће дрвенасте врсте, крмно

Округли сто: Рударство као прилика за привредни развој и еколошки изазови,
Приједор, 2024.

легуминозно биље (луцерка, дјетелине), енергетске високе траве (мискантус и др), биљке за производњу шећера (шећерна трска, шећерна репа, слатки сирак), житарице (нарочито просолика жита), и уљарице. Бабовић и сар. (2012) наводе да је у производњи биодизела годишња продукција по хектару обрадиве површине еквивалентна вриједности од 400 GJ за биљне врсте које припадају „C₄ групи биљака" (разлике између врста у процесу и интензитету фотосинтезе, нпр. C₄ биљке најефикасније користе свјетлост), 250 GJ за житарице, и 70 GJ за уљарице (стрна жита и уљарице припадају C₃ групи биљака).

Уопштена поставка је да у производњи биогорива постоје четири генерације извора (Томовић 2002; Dželetović et al., 2014; Гламочлија и сар. 2022; Malić et al., 2023):

- ✓ прва генерација извора потиче из прераде угљених хидрата и биљних уља из ратарских усјева и масти анималног поријекла;
- ✓ друга генерација биогорива су сировине биљног поријекла (различити вишегодишњи крмни усјеви), и остали органски отпад (биљног и анималног поријекла);
- ✓ биогорива треће генерације (једним именом називају се енергетски усјеви); и
- ✓ четврта генерација извора биоенергије јесу алге гајене у сланој и слаткој води (Schenk et al., 2008; Gao et al., 2012).

У наредној табели приказан је принос суве материје, доња топлотна моћ, количина потенцијалне енергије по јединици површине, садржај воде при жетви и коришћењу различитих биоенергетских горива, тј. биљних врста (Бабовић и сар., 2012; Дражић и сар., 2014).

Табела 1 Карактеристике појединих енергетских култура

Параметар	Принос суве материје (CM), т/ха/год	Доња топлотна моћ (MJ/kg CM)	Количина енергије (GJ/ха)	Садржај воде при жетви (%)	Садржај пепела (мас.%)
Стрна жита - слама	2-4	17	35-70	14,5	5
Конопља	10-18	16,8	170-300	-	-
Врба	8-15	18,5	280-315	53	2
Топола	9-16	18,7	170-300	49	1,5
Багрем	5-10	19,5	100-200	35	-
Мискантус	8-32	17,5	140-560	15	3,7
Трстика	15-35	16,3	245-570	50	5
Канарска трава	6-12	16,3	100-130	13	4
Преријско просо	9-18	17	-	15	6

Енергетски усјеви и засади

Вишегодишњи енергетски усјеви захтијевају мање воде и хранива, а производе много већу биомасу по хектару за биогориво у односу на већину комерцијалних усјева намијењених за људску исхрану или за производњу сточне хране (Qin et al., 2012). Укратко то су врсте широке еколошке валенце за основне абиотичке факторе (Којић и сар., 1997). Такође, укупни трошкови производње су знатно мањи у односу на класичне пољопривредне културе. Сљедећа важна карактеристика је могућност њихове производње на деградираним или напуштеним пољопривредним земљиштима, значајним умањењем потреба за обрадивим земљиштима, и без изазивања губитака биодиверзитета кроз уништавање вриједних природних станишта (Saggiqiriy et al., 2011). Ту долазе до изражаја површине у оквиру рударских басена, тј. формирана техногена земљишта (депосоли, флотисоли, цинеросоли, и др). Поједине енергетске врсте, хиперакумулатори, користе се у процесу ремедијације земљишта контаминирана тешким металима и другим полутантима (Dražić et al., 2015; Pandey et al., 2016; Andrejić et al., 2019). Осим тога, већина енергетских култура има изражену адаптабилност на све већи интензитет климатских промјена.

Биоенергија доступна од материјала добијених из биолошких извора испуњава двоструку намјену повећања енергетске сигурности и ублажавања климатских промјена, а према многим истраживањима у великој мјери поуздана је алтернатива фосилним горивима. Dželetović et al. (2014) наводе да ће управо овај извор биогорива, који потиче од лигно-целулозних усјева и засада, имати улогу у рјешавању ових проблема, и обезбиједити значајан удио у одрживом снабдијевању горивом, по приступачној цијени а уз већу корист по животну средину.

Једна од основних квалитативних карактеристика усјева треће генерације је њихов хемијски састав, који се састоји од целулозе, хемицелулозе и лигнина (Gray et al., 2006) а имају и умањени садржај влаге, пепела, К, Сl, N и S. У наставку се описују двије основне групације енергетских засада са аспекта њиховог могућег гајења на рударским техногеним земљиштима а то су: 1) засади кратке опходње, и 2) енергетске траве.

Засади кратке опходње

Засади са великим бројем биљака или густе засади кратке опходње (SRWC Short Rotation Woody Crops) прогнозирани су као главни извор дрвне биомасе (Bernds et al., 2003). У оквиру шумарског сектора, као посебни видови продукције биомасе издваја се „шумарство у кратким опходњама" (Short Rotation Forestry – SRF), и „изданачко шумарство у кратким опходњама" (Short Rotation Coppice – SRC). Ови засади су обједињени под називом

плантаже дрвенастих врста кратке опходње – ПКО (Стајић, 2016). У најкраћој опходњи, и то, од двије до четири године, истиче се управо изданачко шумарство у кратким опходњама – SRC (Eppler and Peterson, 2007). Christersson и Verma (2006) у генерализацији дефиниције овакве производње наводе годишњи прираст од најмање 25 м³/ха или 10 т см/ха. Иако кратке опходње, овакви засади могу трајати и до 25 година (Dillen et al., 2011).

Стајић (2016) као најчешће шумске врсте које се користе у енергетском плантажирању за подручје Европе наводи врбе (*Salix sp.*) и тополе (*Populus sp.*), те њихови хибриди и клонови. За њима одмах слиједи и багрем (*Robinia pseudoacacia L.*). У топлијим климатским регионима Европе, велики удио енергетских плантажа осим тополе, заузима и еукалиптус (Gasol et al. 2009). Највеће површине под засадама багрема налазе се у Мађарској, Италији и Грчкој. Bianco et al. (2014) дају преглед дрвенастих врста које се могу користити у системима кратке опходње, које дијеле на: аутохтоне врсте (*Betula sp.*, *Corylus sp.*, *Populus sp.*, *Salix sp.*, *Rhamnus sp.*, *Juglans sp.*), алохтоне врсте (*Acer sp.*, *Ailanthus sp.*, *Juglans sp.*, *Eucalyptus sp.*, *Paulownia sp.*, *Robinia sp.*), и групу различитих клонова евроамеричке тополе (*Populus × euramericana*). Проучавањем флоре у спонтаном расту и развоју на одлагалиштима откривке станарског и гатачког угљеног басена у Републици Српској констатовано је присуство врбе, јохе, и тополе (Малић и Ковачевић, 2009; Малић и сар., 2011), што указује на могућност њиховог намјенског гајења на техногеним земљиштима у оквиру енергетског плантажирања (слика 2).

Основна технологија производње подразумјева гајење у густим засадама кратке опходње, директну сјечу, мљевање, и сагоријевање дрвне масе младих биљака у цјелости, старости једне до три године, значи искоришћавање у кратким циклусима са обнављањем из коријена (Клашња и сар., 2006). Намјенско заснивање плантажа оваквог типа постиже се системом густе садње. Тако се у плантажирању евроамеричке тополе користи густина и до 10.000 резница/ха, тј. садња на растојању 2×0,5 м (Пилиповић и сар., 2023). Високо продуктивне пионирске врсте су врбе, при чему је прва сјеча најчешће послје пет година а затим се циклус понавља сваке три године, до 20-25 година старости засада. У енергетским засадама топола циклуси експлоатације крећу се од пет до седам година. Саме квантитативне основне особине, као и енергетске вриједности засада топола имају значајне варијације код појединих гајених клонова као резултат селекције на карактеристике влакана и запреминску масу дрвета топола (De Bell et al., 1998; Goyal 1999; Ivkovich 1996; Peszlen 1998). Searle и Malins (2014) констатују да су просјечни прирасти биомасе тополе, слично као и врбе у оваквим системима плантажирања у интервалу од 5 до 10 т/ха (анализирајући велики број оваквих истраживања). Током истраживања продукције биомасе

на два клона евроамеричке тополе на депосолима рударског басена Колубара у Србији, Тодоровић (2016) наводи принос суве масе од 12,8 до 18,1 т/ха (уз просјечан прираст биомасе од 6 т/ха/год), у зависности од норме ђубрења и проведеног чеповања. У истим условима истраживања приноси биомасе врбе (клон Inger) кретали су се у интервалу 3,0–9,4 т/ха/год.



Слика 2 Засад клонова евроамеричке тополе на депосолу унутрашњег одлагалишта откритке (површински коп Рашковац, Станари)



Слика 3 Популација трске на депосолу пјесковито иловасте текстуре са повећаним садржајем влаге (вањско одлагалиште откритке п.к.Рашковац, Станари)

Енергетске траве

Енергетске траве су усјеви који се намјенски гаје и искоришћавају искључиво методом сагоријевања у сувом стању, и различитом степену припреме и уситњености као енергента (чврсто гориво у котловским постројењима, прерада у pellet, брикет и др). Целетовић и сар. (2006) наводе да исти представљају нову врсту усјева и гајења, који су развијени као одговор на потребу смањења емисије CO₂.

Гламочлија и сар. (2022) издвајају групу травних врста (фам. *Poaceae*), под називом „високе траве“, са важном заједничком особином а то је њихово ефикасно гајење и вишегодишње коришћење у процесу добијања биогорива. У наведену групу енергетских трава убрајају се:

- 1) висока пиревина, са неколико интерспецијес хибрида, међу којима се издваја *Agropyron intermedium* (група C₃ биљака);
- 2) преријско просо (*Panicum turgidum* Forssk.), са два основна позната екотипа, долински и брдски (група C₄ биљака);
- 3) шпанска (циновска) трска (*Arundo donax* L.), припада групи C₃ биљака, једна од најзначајнијих врста за производњу биогаса;

- 4) мискантус или кинески шаш (*Miscanthus x giganteus* Greef et Deuter), интерспецијес триплоидни хибрид настао укрштањем врста *Miscanthus sacchariflorus* и *Miscanthus sinensis* (C₄ фотосинтетска група биљака);
- 5) трстика или канарска трава (red canary grass) (*Phalaris arundinacea* (L.) Syn.), изузетно широког спектра физиолошке толеранције на еколошке факторе (група C₄ биљака), енергетска врста са најмањим садржајем пепела у процесу сагоријевања.

Интересантно мјесто у овој групи заузима и хибрид мискан, добијен укрштањем врста рода мискантус (*Miscanthus* sp.) и шећерне трске (*Saccharum* sp.). Kitzcak et al. (2023) наводе могућност успјешне култивације канарске траве (RCG) на пјесковитим земљиштима сјеверне Пољске са аспекта обовљивих извора енергије. У проучавању флоре одлагалишта угљеног басена Станари, Малић и Ковачевић (2009) детерминишу трску (*Phragmites communis* Trin.). Трска се такође сматра врстом за потенцијално енергетско искоришћење (слика 3).

У примијењивим условима гајења енергетских трава на депосолима рударских одлагалишта у агро-еколошким условима Републике Србије и Републике Српске кроз рекултивациони и пост-рекултивациони период, Dželetović et al. (2014) издвајају: преријско просо, циновску трску, и мискантус. Основна карактеристика поменутих врста у намјенској производњи биоенергије, у односу на густе шумске засаде кратке опходње, је та што се жетва надземне биомасе проводи сваке године.

Одређена предност мискантуса у односу на остале енергетске траве (тренутно је највише гајена врста међу енергетским биљкама), посматра се кроз неколико аспеката. Чињеница је да успијева како у хладнијим и влажним, тако и у сувим и топлим предјелима (Џелетовић, 2012; Дражић и сар., 2014; Максимовић et al., 2019). Мискантус је триплодни хибрид, високе продукције биомасе, поријеком из југоисточне Азије а у Европу је интродукован из Јапана тридесетих година прошлог вијека. Ради се о вишегодишњем стерилном хибриду, који се размножава вегетативно, ризомима а експлоатише се од 12 до 15 година, уз једну жетву годишње. Просјечан принос суве надземне масе мискантуса на подручју Европе креће се од 15 до 20 т/ха а максимални измјерени принос износи и преко 30 т/ха (Лето и сар., 2017; Џелетовић, 2012; Nimken et al., 1997). Новије селекционисане сорте дају принос и до 40 т/ха (мискантус хибрид "Mammoth"). Процијењена површина у Европи на којој се гаји мискантус износи преко 20.000 ха (Lewandowski et al., 2016). Тренутно, највеће површине налазе се у Великој Британији, Француској, Њемачкој, Швајцарској, Пољској, и Мађарској (Гламочлија и сар., 2022). Процјена површина на којима се мискантус гајио у Србији у првој деценији новог миленијума износила је око 50 ха (Џелетовић и Гламочлија, 2011). Ранија истраживања Lewandowsk-ог и сар. (1995) показују да се у

процесу сагоријевања мискантуса, умјесто угља, може се сачувати и до 90% емисије CO₂. Тако Styles и Jones (2007) наводе да мискантус емитује 0,131 кг CO₂/kWh⁻¹, у односу на емитовање 0,99 кг CO₂/kWh⁻¹ код сагоријевања угља при производњи електричне енергије. Даље, етанол из биомасе мискантуса представља вриједно текуће биогориво из групе енергетских култура (Palmarola-Adrados et al., 2005). Осим енергетске намјене, коришћење надземне масе мискантуса огледа се у грађевинском материјалу, индустрији целулозе, разне форме малч покривача, уређењу простора и др.

Основни начини коришћења надземне биомасе мискантуса као чврстог горива јесу сљедећи: сагоријевање суве масе у великим котловским постројењима (Hodžić and Kadić, 2023; Целетовић, 2009; Collura et al. 2006), затим производња брикета и пелета за котлове мање снаге. Исти аутори наводе да је топлотна вриједност биомасе мискантуса висока (17,7 MJ kg⁻¹) а његовим гајењем, тј. плантажирањем остварује се нето енергетски принос у интервалу 152-326 MJ ха⁻¹. Такође, мискантус се третира и као важан извор за добијање биогаса и биоетанола (Burner et al., 2017; Đurić et al., 2022). Посебан или додатни начин у гајењу мискантуса је коришћење у процесу ремедијације земљишта. У ту сврху вршена су истраживања плантажирањем мискантуса на пепелу из термоелектрана (Целетовић и сар., 2013; Dražić et al., 2015), као и испитивањем његове могућности у фиторемедијацији тешких метала (Cd, Ni) са различитих флотација (флотисол) у Србији (Andrejić et al., 2019).

У оквиру могућег плантажирања мискантуса на техногеним земљиштима у Босни и Херцеговини и Републици Српској наводе се резултати истраживања на одлагалишту пепела из термоелектране Тузла (Čustović et al., 2016), и вишегодишње истраживање са мискантусом на депосолу и рекултисолу одлагалишта откривке са лежишта лигнита Рашковац, Станари (Malić et al., 2023). У прилогу постојаности основног ресурса за производњу бионергије на овај начин Čustović et al. (2016) наводе потенцијал формираних одлагалишта пепела из термоелектрана у БиХ са површином од преко 600 ха, као и више од 7.000 ха укупних рударских површина (одлагалишта откривке, и друге завршне површине техногеног земљишта).

У угљеном басену Станари већ једну деценију врши се испитивање основних квантитативних и квалитативних особина у експерименталном засаду, уз примјену неопходних мјера при гајењу или плантажирању мискантуса, у директном типу рекултивације (слике 4-5). Прелиминарни резултати истраживања приноса суве масе мискантуса у периоду од 5. до 6. године плантажирања износе 16,5-18 т/ха. За потребе анализе у енергетске сврхе вршена су лабораторијска испитивања одређених калоријских вриједности суве надземне масе мискантуса, након жетве (Malić et al., 2023), и његово поређење са равним угљем лигнитом из лежишта Рашковац (табела 2).



Слика 4 Засад мискантуса у трећој години гајења на рекултисолу одлагалишта откривке (п.к. Рашковац, Станари) у фенофази метличења (октобар 2020)



Слика 5 Кошење (жетва) надземне масе мискантуса на рекултисолу (п.к. Рашковац) у периоду мировања вегетације, на крају шесте године гајења (фебруар 2024)

Табела 2 Резултати основних енергетских вриједности суве надземне масе мискантуса и равног угља лигнита са лежишта Рашковац, Станари

Број узорка	Врста узорка	Садржај влаге	Садржај пепела	Сагориве материје %	Испариве материје	С-fix	S- укупно	Калоријска вриједност (ДТВ)
								kJ kg ⁻¹
1.	Цијела биљка	18.12	5.02	76.86	62.97	13.89	0.09	18273
2.	Стабло	18.37	2.38	79.24	66.39	12.86	0.07	18621
3.	Лист	17.79	6.16	76.05	64.29	11.76	0.10	17995
4.	Ровни угаљ	48,17	11,02	40,8	24,70	16,11	0,14	8947
5.	Ровни угаљ	51,09	5,37	43,54	26,16	17,39	0,10	9644

Сагласно приказаним резултатима и други аутори наводе сличну калоријску вриједност биомасе мискантуса, која се може кретати у интервалу 9,5–18 MJ kg⁻¹ (Hodžić and Kadić, 2023; Целетовић, 2012; Целетовић, 2009; Collura et al. 2006). На енергетском нивоу, Lewandovski et al. (1995) наводе да је 20 т мискантуса еквивалентно 12 т мрког угља, 35–44 т лигнита, док је 30 т мискантуса еквивалентно 12.000 л нафте (El Bassam, 1996). У односу на мрки

угаљ, еквиваленција за угаљ лигнит износи: 20 т мискантуса одговара 35–40 т лигнита (Malić et al., 2023; Дражић и сар., 2014; Целетовић и сар., 2013).

У наставку је дат примјер пројекције производње бионергије на техногеном земљишту већих рударских басена Републике Српске. За ову пројекцију потенцијалног приноса бионергије уобзирена је површина од 8.000 ха. На основу површине и приноса (процјена приноса био-масае, кроз суву материју дата је на годишњем нивоу) за три културе дат је и могући енергетски биланс.

Табела 3 Пројекција могуће производње бионергије на техногеним земљиштима

Мјерени параметар	Просјечан принос суве материје (СМ), т/ха/год	Доња топлотна моћ (МЈ/кг СМ)	Количина бионергије по јединици површине (GJ/ха)	Производна површина (ха)	Укупна количина бионергије (GJ/год)
Култура					
Врба	8	18,5	148	2.000	296
Топола	9	18,7	168	2.000	336
Мискантус	16	17,5	280	4.000	1.120

Умјесто закључака

Посебан вид производње енергије из обновљивих извора представља гајење намјенских биљних врста за овакав вид коришћења. Међу енергетским културама издвајају се шумски засади кратке опходње (тренутна доминација у гајењу брзорастућих клонова врба и топола), и енергетских трава (предност у плантажирању мискантуса). У оквиру производње бионергије нарочит домен потенцијалног искоришћења налази се у земљиштима нижих бонитетних вриједности. При томе, као потенцијални ресурс издвајају се сљедећи типови земљишта: депосол, рекултисол, и цинеросол. Гајењем биљних врста под називом енергетске културе остварио би се вишеструки утицај када је у питању продукција обновљиве енергије, провођење рекултивације и ремедијације, затим продукција укупне биомасае, коришћење земљишта ниске плодности, оправдана финансијска улагања, изражена прилагодљивост климатским промјенама. Нарочити еколошки бенефити огледају се у изузетно ниским концентрацијама штетних гасова емитованих у атмосферу при њиховом гајењу и сагоријевању у котловима, затим континуираном кружењу органске материје у природи, обнављању деградираних површина, те побољшању основних физичких и хемијских особина земљишта и цијелих екосистема. Остале допунске могућности њиховог коришћења јесу: производња кабасте сточне хране, производња биогаса и биоетанола, широк ареал земљишних и климатских услова неопходних за гајење енергетских култура. Изузетан ефекат проналази се у њиховом искоришћавању у процесу рекултивације техногених земљишта у

оквиру рударских басена у Републици Српској (земљишта површинских копова, одлагалишта пепела из процеса сагоријевања угља, депоније различитог отпада и сл). На примјеру пројекције производње биоенергије из биомасе на површини од 8.000 ха могућа је производња енергије на годишњем нивоу од 1.752 GJ. У циљу успјешног гајења енергетских култура на техногеним земљиштима потребно је наставити како са истраживањем у процесу производње и искоришћења, тако и са њиховим увођењем у редовни процес рекултивације.

Референце/Литература

- Андреј Пилиповић, Саша Орловић, Бранислав Ковачевић, Леополд Пољакковић-Пајник, Јована Поповић, Драган Раковић, Александра Јовановић, 2023. *Производња биомасе клонова евроамеричке тополе (Populus × euramericana (Dode) Guinier) у засадима кратке опходње са различитим размацима садње*. Топола/Poplar, 212, 33-41, doi: 10.5937/topola2312033P.
- Beatriz Palmarola-Adrados, Pavla Chateboška, Mats Galbe, Guido Zacchi, 2005. *Ethanol production from non-starch carbohydrates of wheat bran*. Bioreour Technol. 96(7), pp. 843-850.
- Bianco P., Ciccarese L., Jacomini C., Pellegrino P, 2014. *Impacts of short rotation forestry plantations on environments and landscape in Mediterranean basin*. Rapporti 196/14. ISPRA – Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale, Roma, 115 p. ISBN 978-88-448-0618-7.
- Бојана Клашња, Саша Орловић, Зоран Галић, Предраг Пап, Марина Катанић, 2006. *Густи засади топола као сировина за производњу енергије*. Гласник шумарског факултета, Београд, бр. 94, стр. 159-170.
- Бранко Лекић и сар., 2014. *Допунски рударски пројекат трајне обуставе радова на експлоатацији угља на п.к. Грачаница – Гацко, технички пројекат рекултивације*. Рударски институт Бања Лука.
- Бранко Лекић и сар., 2022. *Главни рударски пројекат п.к. Остружња – Технички пројекат рекултивације и просторног уређења површина захваћених експлоатационим радовима*. Рударски институт Бања Лука.
- Бранко Стајић, 2016. *Енергетски засади брзорастућих врста дрвећа у Србији: производња биомасе, легислатива, тржиште и утицаји на животну средину – потенцијали и ограничења*. Global Environment Facility, Министарство рударства и енергетике, Министарство пољопривреде и заштите животне средине Републике Србије, UNDP Србија.

- Carles M. Gasol, S. Martínez, M. Rigola, J. Rieradevall, A. Anton, J. Carrasco, P. Ciria, X. Gabarrell, 2009. *Feasibility assessment of poplar bioenergy systems in the Southern Europe*. Renewable and Sustainable Energy Reviews 13, p. 801–812.
- Copernicus Land Monitoring Service, 2018. *CORINE Land Cover 2018 (vector/raster 100 m), Europe, 6-yearly* - Copernicus Land Monitoring Service.
- David M. Burner, A. J. Ashworth, D. H. Pote, J. R. Kiniry, D. P. Belesky, J. H. Houx, P. Carver, F. B. Fritsch, 2017. *Dual-use bioenergy-livestock feed potential of giant miscanthus, giant reed and miscane*. Agricultural Science, 8, pp. 97-112, doi. 10.4236/as.2017.81008.
- Европски парламент, 2003. *Directive 2003/30/EC of the European Parliament and of the Council on the promotion of the use of biofuels or other renewable fuels for transport*, Official Journal of the EU, Bruxelles, Belgija.
- Gordana Andrejić, Jasmina Šinžar Sekulić, Milijana Prica, Gordana Gajić, Željko Dželetović, Tamara Rakić, 2019. *Assesment of the adaptive and phytoremediation potential of Miscanthus x giganteus grown in flotation tailings*. Arch Biol Sci., pp. 1-16, doi. 10.2298/ABS190709051A.
- Гордана Дражић, Нада Петровић, Мирјана Аранђеловић, Ана Витас, Урош Радојевић, Слободан Спасић, 2014. *Екоремедијација деградираних простора плантажирањем мискантуса*. Уредник монографије: Јелена Миловановић. Факултет за примењену екологију Фугура, Универзитет Сингидунум Београд, Србија.
- Gordana Dražić, Mirjana Arandjelović, Jelena Milovanović, Zuzana Jurekova, Eleonora Marišova, 2015. *Potential for agro-energy crops productions: example of miscanthus cultivation in Serbia*. Acta Regionalia et Environmentalica 2, pp. 30-37, doi: 10.1515/aree-2015-0007.
- G. C. Goyal, J. J. Fisher, M. J. Krohn, R. E. Packood, J. R. Olson, 1999. *Variability in pulping and fiber characteristics of hybrid poplar trees due to their genetic makeup, environmental factors, and tree age*, Tappi 82/5, Tappi, Nocross, pp. 141-147.
- G. Berndes, M. Hoogwijk, R. Van den Broek, 2003. *The contribution of biomass in the future global energy system: A review of 17 studies*. Biomass and Bioenergy 25, Pergamon, pp. 1-28.
- Hamid Čustović, Mirha Đikić, Melisa Ljuša, Semin Petković, 2016. *Quantitative and qualitative characteristics of miscanthus (Miscanthus x giganteus Greef et Deu) planted in Bosnia and Herzegovina*. Proceedings of the 15th Alps-Adria Scientific Works, Mali Lošinj, Croatia.

- Хуснија Ресуловић, Хамид Чустовић, И. Ченгић, 2008. *Систематика тла/земљишта (настанак, својства и плодност)*. Универзитет у Сарајеву, Пољопривредно – прехранбени факултет Сарајево.
- Iris Lewandowski, A. Kicherer, P. Vonier, 1995. *CO₂-balance for the cultivation and combustion for Miscanthus*. Biomass and Bioenergy, Vol. 8, No. 2: 81-90.
- Iris Lewandowski, John Clifton-Brown, Luisa M. Trindade et al., 2016. *Progress on optimizing miscanthus biomass production for the European Bioeconomy: Results of the EU FP7 Project OPTIMISC*. Front. Plant Sci. 7, doi: 10.3389/fpls.2016.01620.
- I. Peszlen, 1998. *Variation in specific gravity and mechanical properties of poplar clones*. Drevarsky Vyskum 43, vol. 2, ŠDVU Bratislava, pp. 1-17.
- Јосип Лето, Никола Биланџија, Невен Воћа, Зоран Гргић, Вања Јуришић, 2017. *Узгој и кориштење мискантуса (Miscanthus sp.)*. Свеучилиште у Загребу, Агрномски факултет.
- J. D. De Bell, B. L. Gartner, D. S. De Bell, 1998. *Fiber length in young hybrid Populus stems grown at extremely different rates*. Can. J. Forest Res. 28/4, National Research Council of Canada, Ottawa, pp. 603-608.
- Jelena Maksimović, Zoran Dinić, Radmila Pivić, Aleksandra Stanojković-Sebić, Željko Dželetović, M. Mladenović, Đorđe Glamočlija, 2019. *Environmental sustainability of marginal soils by Miscanthus cultivation: A review*. Proceedings of the 25th International Symposium on Analytical and Environmental Problems, Szeged, Hungary, pp. 186-190.
- Kevin A. Gray, L. Zhao, M. Emptage, 2006. *Bioethanol*. Curr. Opin. Chem. Biol. 10: 141-146.
- Lars Christersson, K. Verma, 2006. *Short-rotation forestry – a complement to “conventional” forestry*. Unasylva 223, pp. 34–39.
- Маријана Каповић Соломун, Михајло Марковић, 2022. *Земљишта Републике Српске*. Универзитет у Бањој Луци – Шумарски факултет Бања Лука
- Милица Младеновић, Драгољуб Дакић, Невена Петров, 2022. *Потенцијал реиндустријализације Републике Србије уз кориштење биомасе као обновљивог вида горива*, Енергија, економија, екологија, ХХИС, бр. 2, Србија, doi: 10.46793/ЕЕЕ22-2.13М.
- Момчило Којић, Ранка Поповић, Бранко Карацић, 1997. *Васкуларне биљке Србије као индикатори станишта*. Институт за истраживања у пољопривреди „Србија“, Институт за биолошка истраживања „Синиша Станковић“.

- Miguel A. Carrquiry, Du X, G. R. Timilsina, 2011. *Second generation biofuels: economics and policies. Energy Policy*, 39, pp. 4222–4234.
- M. Himken, J. Lammel, D. Neukirchen, U. Czyptionka-Krause, H-W Olf, 1997. *Cultivation of Miscanthus under West European conditions: Seasonal changes in dry matter production, nutrient uptake and remobilization. Plant and Soil*, vol. 189, no. 1, pp. 117-126.
- M. Ivkovich, 1996. *Genetic variation of wood Properties in Balsam Poplar (Populus balsamifera L.)*. *Silvae Genetica* 45, 2-3, Saurlander's Verlag, Frankfurt a. M, pp. 119-124.
- Нада Бабовић, Дражић Д. Гордана, Ђорђевић М. Ана, 2012. *Мозгућности коришћења биомасе пореклом од брзорастуће трске Miscanthus x giganteus*, *Hem. Ind.* 66 (2), pp. 223-233, doi: 10.228/HEMIND110711082B.
- Nasir El-Bassam, 1996. Performance of C4 plants species as energy sources and their possible impact on environment and climate. In: Chartier P., Ferrero G.L., Henius, U.M. Hultberg S., Sachau J, Wiinblad M. *Biomass for Energy and the Environment – Proceedings of the 9th European Bioenergy Conference. 24-27 June 1996, Copenhagen, Denmark, Elsevier Science Ltd, Oxford*, pp. 42–47.
- Небојша Тодоровић, 2016. Утицај чеповања и прихрањивања на развој плантажа тополе и врбе за производњу биомасе на депосолима пд „Колубара“ д.о.о. - Лазаревац. Докторска дисертација, Универзитет у Београду, Шумарски факултет, Београд.
- Nenad Đurić, D. Poštić, V. Rajčić, G. Branković, G. Cvijanović, R. Đorđević, S. Savić, 2022. *Production characteristics of miscanthus (Miscanthus x giganteus Greef et Deu) under agroecological conditions of Serbia*. *Proceedings of the 1st International Online Conference on Agriculture – Advances in Agricultural Science and Technology, Basel, Switzerland*, pp. 10-25.
- Ненад Малић, 2023. *Земљиште у сфери индустријализације и рударства – последице и санација*. У: Илић П, Говедар З, Пржуљ Н (уредници) *Животна средина. Академија наука и умјетности Републике Српске, Бања Лука, Монографија LV: 323–376. DOI 10.7251/EORU2309323M*
- Nenad Malić, Una Matko, Miladin Trbić, Radoslava Pijunović, Mihajlo Marković, 2023. *Alternative Methods of Rehabilitation (Soil Recovery), Reclamation and Remediation of Mine Technosols*. 30th International Conference Ecological Truth & Environmental Research – Proceedings ‘‘Eco-TER’23’’. Stara Planina, Serbia, June 20-23, pp 283–288.

- Ненад Малић и сар., 2022б. *Пројекат рекултивације земљишта обухваћеног простором за одлагање чврстих остатака сагорејвања из ТЕ Станари*. ЈНУ Институт за заштиту и екологију РС Бања Лука, 2022б..
- Ненад Малић, 2015. *Рекултивација Станарских депосола примјеном агромелиоративних мјера и сјетвом травно-легуминозних смјеса*. Докторска теза, Универзитет у Бањој Луци, Пољопривредни факултет Бања Лука.
- Ненад Малић, Златан Ковачевић, Зорана Милидраг, 2011. *Флора Гатачких техногених земљишта*. *Агрознање*, 12 (2), 211–218.
- Ненад Малић, Владимир Бијелић, Горан Ковачевић, 2010. *Рекултивација техногених земљишта у Републици Српској*. Зборник радова I Међународног симпозијума "Савремене технологије у рударству и заштити животне средине – Рударство 2010". Србија - Тара, 437–444.
- Ненад Малић, Златан Ковачевић, 2009. *Флора станарских одлагалишта*. *Агрознање*, 10 (2), 47–56.
- Nihad Hodzic, Kenan Kadic, 2023. *Experimental Research on The Co-firing of Mixtures of Lignite, Waste Woody Biomass and Miscanthus in The Direction of Energy Sector Transition*. *European Journal of Energy Research*, Vol. 3 (2), doi: 10.24018/ejenergy.2023.3.2.113
- Pellinen, P. (1986): *Biomasseuntersuchungen im Kalkbuchenwald*. Dissertation, Goettingen, Germany.
- Предраг Илић, Денис Међед, Сања Бајић, Ранко Вељко, Силвана Рачић Милишић, 2022а. *Студија утицаја на животну средину за пројекат експлоатације угља на лежишту Рашковац на укупној површини од 1123 ха*. ЈНУ Институт за заштиту и екологију РС Бања Лука.
- P. M. Schenk, S. R. Thomas-Hall, E. Stephens, U. C. Marx, J. H. Mussnug, C. Posten, O. Kruse, B. Hankamer, 2008. *Second generation biofuels: High-efficiency microalgae for biodiesel production*. *BioEnergy Research*, 1, pp. 20-43.
- Salvatore Collura, Bruno Azambre, Gisèle Fingueneisel, Thierry Zimny, Jean Victor Weber, 2006. *Miscanthus × Giganteus straw and pellets as sustainable fuels*. *Environ Chem Lett* 4, 75–78. doi.org/10.1007/s10311-006-0036-3
- Славко Томовић, 2002. *Алтернативни извори енергије*. Техничка књига, Београд.
- S. Y. Searle, C. J. Malins, 2014. *Will energy crop yields meet expectations?* *Biomass and bioenergy* 65, pp. 312.

- S. Y. Dillen, S. Vanbeveren, N. Al Afas, I. Laureysens, S. Croes, R. Ceulemans, 2011. *Biomass production in 15-year-old-poplar short-rotation coppice culture in Belgium*. In: "Aspects of Applied Biology 112, Biomass and Energy Crops IV", Association of Applied Biologists, Wellesbourne, UK, p. 99–106.
- Teodor Kitzcak, Grzegorz Jarnuszewski, Ryszard Malinowski, 2023. *Cultivation of Reed Canary Grass (Phalaris arundinacea L.) on Light Soils in Transitional Temperate Climate to Produce Biomass and Seeds*. Agriculture, 13(11), 2129; <https://doi.org/10.3390/agriculture13112129>
- U. Eppler, J. E. Petersen, 2007. *Short Rotation Forestry, Short Rotation Coppice and energy grasses in the European Union: Agro-environmental aspects, present use and perspectives*. Specific Contract No 2 3604/B2006/EEA.52793 - Deliverable Task 2b: Background report on current SRF/SRC cropping patterns in Europe, p. 41.
- Vimal Chandra Pandey, Omesh Bajpai, Nandita Singh, 2016. *Energy crops in sustainable phytoremediation*. Renewable and Sustainable Energy Reviews 54: 58–73. doi: [org/10.1016/j.rser.2015.09.078](https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.09.078)
- Влада Републике Српске, 2018. *Стратегија развоја енергетике Републике Српске до 2035. године*. Бања Лука, РС.
- Влада Републике Српске, 2020. *Катастар одобрених експлоатационих поља (2020)*. Доступно на: <https://vladars.net/sr-SP-Cyrl/Vlada/Ministarstva/mper/katastraz/Pages/default.aspx>.
- Y. Gao, C. Gregor, Y. Liang, D. Tang, C. Tweed, 2012. *Algae biodiesel – a feasibility report*. Chem. Cent. J. 6 (Suppl 1), doi: 10.1186/1752-153X-6-S1-S1.
- Z. Qin, Q. Zhuang, M. Chen, 2012. *Impacts of land use change due to biofuel crops on carbon balance, bioenergy production, and agricultural yield, in the conterminous United States*. GCB Bioenergy, 4 (3): 277–288.
- Жељко Целетовић, Дражић Гордана, Срђан Благојевић, Невена Михаиловић, 2006. *Специфични агротехнички услови гајења мискантуса*. Пољопривредна техника. Година XXXI, бр. 4, стр. 107-115.
- Жељко Целетовић, Невена Михаиловић, Ђорђе Гламочлија, Гордана Дражић, Срђан Ђорђевић, М. Миловановић, 2009. *Жетва и складиштење Miscanthus x giganteus Greef et Deu*. Пољопривредна техника. Година XXXIV, бр. 3, стр. 9-16.

- Жељко Целетовић, Ђорђе Гламочлија, 2011. *Привредни значај гајења мискантуса*. Пољопривредна техника, бр. 2, 61-68.
- Жељко Целетовић, 2012. *Мискантус (Miscanthus x giganteus Greef et Deu.) – производне одлике и продуктивност биомасе*. Задужбина Андрејевић, Београд.
- Жељко Целетовић, И. Живановић, Радмила Пивић, Александар Симић, Г. Лазић, Ј. Максимовић, 2013. *Могућности коришћења вишегодишњих ризоматозних трава за мелиорације оштећених земљишних површина*. У: *Мелиорације 13* (зборник радова, 24. јануар 2013., Нови Сад), 130-137, Пољопривредни факултет, Нови Сад.
- Željko Dželetović, Aleksandar Simić, J. Maksimović, I. Živanović, 2014. Possibilities of phytostabilization of deposol of coal mine soil using grass and bioenergy crops of the second generation. In: *Soil 2014 - Planning and land use and landfills in terms of sustainable development and new remediation technologies* (Proceedings of Integrated meeting, May 12-13, 2014., Zrenjanin, Serbia), Eds. Vrvić, M., Cokić, Z. and Tanasijević, Lj., Publisher: Association for the development and use soil and landfills, Belgrade, Serbia, pp. 70-79. (ISBN 978-86-80809-85-4, COBISS.SR-ID 209066764).