

Универзитет Метрополитан  
Факултет за примењену екологију Футура  
Београд

Ивана З. Шеклер

**ЕКОЛОШКИ, УПОТРЕБНИ И МИТИГАЦИОНИ  
ПОТЕНЦИЈАЛИ ВРСТЕ *MISCANTHUS X GIGANTEUS*  
(Greef et Deu.) У СРБИЈИ**

- докторска дисертација -

Београд, 2021.

Универзитет Метрополитан  
Факултет за примењену екологију Футура  
Београд

Ивана З. Шеклер (рођ. Петрић)

**ЕКОЛОШКИ, УПОТРЕБНИ И МИТИГАЦИОНИ  
ПОТЕНЦИЈАЛИ ВРСТЕ *MISCANTHUS X GIGANTEUS*  
(Greef et Deu.) У СРБИЈИ**

- докторска дисертација -

Београд, 2021.

Metropolitan University  
Faculty of Applied Ecology Futura  
Belgrade

Ivana Z. Šekler

**ECOLOGICAL, USABLE AND MITIGATION  
POTENTIALS OF THE *MISCANTHUS X GIGANTEUS*  
(Greef et Deu.) IN SERBIA**

- PhD dissertation -

Belgrade, 2021.

МЕНТОР:

др Владица Ристић, ванредни професор

Факултет за примењену екологију Футура, Универзитет Метрополитан

---

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ:

1. др Јела Икановић, научни сарадник

Пољопривредни факултет, Универзитет у Београду

---

2. др Мирјана Бартула, ванредни професор

Факултет за примењену екологију Футура, Универзитет Метрополитан

---

Датум одбране: \_\_\_\_\_

## **Захвалница**

Посебну захвалност за неизмерну љубав, подршку и мотивацију у животу и раду дугујем својој породици: супругу Немањи, сину Василију, родитељима Зорану и Душици, брату Николи, сестри Јелени.

Захвалност за несебичну помоћ при завршетку рада на докторској дисертацији дугујем: ментору, др Владици Ристићу, ванредном професору ФПЕ Футура, др Јордану Алексићу, председнику Савета ФПЕ Футура, др Мирјани Бартули, ванредном професору ФПЕ Футура и члану комисије, др Јели Икановић, научном сараднику Пољопривредног факултета Универзитета у Београду и члану комисије.

Захвалност дугујем професорима, колегама и сарадницима са којима сам у неком делу истраживања и рада на дисертацији сарађивала: проф. др Драгом Антонијевићу, проф. др Јелени Миловановић, проф. др Гордани Дражић, професорима Грађевинског факултета Универзитета у Београду проф. др Димитрију Закићу и проф. др Александру Савићу, др Ивани Јелић, др Милице Мирковић Марјановић (ИМС), Мсц Александру Костићу, Мсц Димитрију Алексићу, Мсц Милошу Николићу, доц. др Сунчици Вјештици, Владимиру Јанковићу, чика Радету (главном техничару Лабораторије за материјале Грађевинског факултета Универзитета у Београду).

Кандидаткиња  
Ивана Шеклер (рођена Петрић)

## Резиме

Двадесет први век је век борбе за очување животне средине и ресурса, кроз адаптацију и ублажавање климатских промена и њених поседица. Промене климе условљавају употребу и гајење биљних врста које су спремне да се адаптирају на новонастале промене. Једна од таквих врста је и *Miscanthus x giganteus*, о чијем се узгајању и употреби говори већ више година. Оно о чему се мање говорило, а што је обрађено у овој докторској дисертацији, јесте способност адаптације мискантуса на климатске промене која је резултовала минималним променама у оствареним приносима у току опсервираног периода од 2012. до 2019. године. Осим тога, приказан је и иновативн приступ коришћења надземне биомасе ове врсте биљке и то у саставу грађевинских материјала (неконструкционих, изолационих материјала и конструкционих, лаких бетона).

## Summary

The twenty-first century is a century of struggle for the preservation of the environment and resources, through the adaptation and mitigation of climate change and its effects. Climate change conditions the use and cultivation of plant species that are ready to adapt to the new changes. One such species is *Miscanthus x giganteus*, whose cultivation and use have been discussed for many years. What was less talked about, and what is covered in this doctoral dissertation, is the ability of miscanthus to adapt to climate change, which resulted in minimal changes in the realized yields during the observed period from 2012 to 2018. In addition, an innovative approach to the use of above-ground biomass of this type of plant is presented in the composition of construction materials (non-structural, insulating materials and construction, lightweight concrete).

## Садржај

1. УВОД.....	7
2. ПРЕДМЕТ И ЦИЉЕВИ ИСТРАЖИВАЊА.....	14
2.1. Предмет, проблематика и преглед досадашњих истраживања .....	14
2.2. Циљеви и задатак истраживања .....	19
2.3. Полазне хипотезе .....	19
3. <i>MISCANTHUS X GIGANTEUS</i> (Greef et Deu.).....	20
3.1. Морфологија.....	20
3.2. Технологија гајења мискантуса .....	21
3.2.1. Вегетативни циклус .....	21
3.2.2. Пантажирање .....	25
3.2.3. Жетва и складиштење .....	29
4. МЕТОДОЛОГИЈА РАДА .....	33
4.1. Прикупљање и обрада података .....	33
4.2. Успостављање огледног поља у селу Ноћај.....	33
4.2.1. Праћење морфолошких карактеристика <i>Miscanthus x giganteus</i> -а.....	35
4.2.2. Анализа реакције земљишта .....	37
4.2.3. Жетва, складиштење и уситњавање мискантуса.....	39
4.3. Припрема узорака грађевинских материјала .....	40
4.3.1. Просејавање мискантуса.....	41
4.3.2. Мерење материјала .....	41
4.3.3. Одређивање водовезивног фактора.....	42
4.3.4. Мешање и уграђивање у калупе .....	42
4.3.5. Сушење узорака.....	44

4.3.6. Мерење физичко-механичких особина узорка.....	45
4.3.7. Мерење горивости материјала узорка.....	47
4.3.8. Мерење топлотне проводљивости.....	48
5. ТЕРМОИЗОЛАЦИОНИ МАТЕРИЈАЛИ .....	50
5.1. Основни типови изолације.....	50
5.2. Историјска употреба природних грађевинских материјала .....	58
5.3. Природна везива у грађевинским материјалима .....	60
5.3.1. Хидраулични креч као природна врста везива у грађевинским материјалима.....	61
5.3.2. Зеолит .....	61
6. РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА.....	62
6.1. Еколошки потенцијал <i>Miscanthus x giganteus</i> -а.....	62
6.1.1. Екоремедијација деградираних простора .....	65
6.1.2. Биоенергетски усеви и аспекти продукције .....	71
6.2. Нови неконструкциони грађевински материјали са добрим термоизолационим особинама и примена мискантуса у лаким конструкционим бетонима.....	75
6.2.1. Одређивање физичко-механичких особина.....	76
Дијаграм 6.2.1.1. Чврстоћа при притиску узорка облика коцки .....	79
6.2.2. Одређивање топлотне проводљивости.....	83
6.2.3. Резултати испитивања горивости материјала .....	85
6.2.4. Употреба мискантуса у конструкционим материјалима – лаки бетони .....	87
6.3. Одређивање митигационих потенцијала мискантуса .....	88
6.3.1. Климатске карактеристике у Србији са акцентом на Сремску Митровицу од 2012. до 2019. године .....	88
6.3.2. Морфолошке особине мискантуса на огледном пољу у Ноћају од 2012. до 2018. године .....	97



6.3.3. Поређење резултата морфолошких особина мискантуса и климатских карактеристика праћених у периоду од 2012. до 2019. године .....	100
6.3.4. Климатске промене у Србији и њихов утицај на приносе усева .....	104
7. ЗАКЉУЧНА РАЗМАТРАЊА .....	106
7.1. Значај гајења мискантуса у Србији .....	106
7.2. Потенцијали мискантуса .....	107
7.3. Препоруке за даља испитивања.....	110
ЛИТЕРАТУРА .....	111

## 1. УВОД

Један од националних приоритета за достизање одрживог развоја у Републици Србији огледа се у заштити, очувању и унапређењу животне средине и рационалном коришћењу природних ресурса.

*Miscanthus x giganteus* (мискантус) у Европи је почео да се гаји током тридесетих година XX века, када је донет из Јапана. У широј комерцијалној употреби познат је триплоидни генотип *Miscanthus x giganteus* (Greef et Deu.), који представља хибрид диплоидног *Miscanthus sacchariflorus* (Maxim.) Benth. (син. *Imperata sacchariflora* Maxim.) и кинеског мискантуса, тетраплоида, *Miscanthus sinensis* Anderss. (син. *Miscanthus purpurascens* Anderss.) [1]. *Miscanthus x giganteus* представља стерилну врсту која не може образовати фертилно семе због последица поменуте триплоидности [44]. Гајење мискантуса у Србији почело је почетком двехиљадитих година, када су успостављене прве плантаже, међу којима је и плантажа у оквиру огледног поља Факултета за примењену екологију Футура. Циљ испитивања мискантуса на успостављеном огледном пољу односио се на праћење еколошких карактеристика врсте, њене адаптабилности на климатске услове наших простора као и свеприсутније климатске промене, а затим и њене способности фиторемедијације земљишта и мочварних површина, где се након тога биомаса може употребити као енергент, неконструкциони грађевински материјал или за неку другу сврху.

Према Извештају Агенције за заштиту животне средине Републике Србије о стању животне средине за 2017. годину [150], на територији Републике Србије идентификовано је 709 потенцијално контаминираних и контаминираних локалитета што, заједно са локалитетима означеним као пољопривредни а на којима се не врши пољопривредна производња из неког разлога, представља значајан потенцијал за узгој брзорастућих енергетских биљака. Досадашња испитивања показала су могућност ремедијације деградираног земљишта успостављањем плантажа *Miscanthus x giganteus*-а.

Мискантус ефикасно везује тешке метале из земљишта, а према досадашњим сазнањима, задржава их у својој ризосфери остављајући тако надземни део биљке неконтaминираним [81]. И ако *Miscanthus x giganteus*, због свог порекла, не захтева земљиште високог квалитета, због постизања што бољег приноса (када се жели узгајати због употребе у енергетске сврхе), није препоручљиво да се сади на најлошијем земљишту, али на земљишту другог и трећег типа могу се очекивати задовољавајући резултати [2]. Извештаји о стању земљишта, базирани на доступним подацима, одређују степен и карактеристике загађења што доприноси опредељењу земљишта на: оно које је погодно за пољопривредну производњу хране класификоване као здравствено безбедне; и на оно које то није, због смањене плодности и деградације, а услед високог садржаја опасних и штетних материја. Такво пољопривредно земљиште погодно је промени намене, која може подразумевати успостављање плантаже *Miscanthus x giganteus*-а. Када се користи у фиторемедијацији на земљишту контaминираним високим концентрацијама тешких метала и токсичних органских супстанци, приноси мискантуса могу бити смањени, али га је свакако могуће користити као енергент у облику пелета и брикета. Значајне предности његовог сагоревања су мали садржај воде, пепела, калијума, хлора, азота и сумпора, што представља значајну предност у односу на фосилна горива, која су и даље најзаступљенија на нашем тржишту. Влада Велике Британије издвојила је биомасу из које се може добити енергија, као један од начина којим се могу остварити обавезе према Кјото Протоколу о климатским променама и смањењу емисије гасова са ефектом стаклене баште за 12,5% [3]. Чврста биомаса мискантуса која се користи за производњу енергије као обновљива сировина, ускоро би могла бити коришћена и као сировина за производњу биогорива (пре свега биоетанола), с обзиром да се та могућност у последње време све више проучава (Канада).

Додатна корист оваквих плантажа је развој екосистема чиме се повећава вредност простора кроз услуге екосистема.

Кључна тема 21. века је могућности адапације и митигације (ублажавања) свеписутнијих климатских промена. Први глобални климатски споразум, који представља најновији међународни споразум у оквиру UNFCCC (United Nations

Framework Convention on Climate Change – Оквирна конвенција Уједињених нација о климатским променама) [4] о борби против климатских промена, а који су потписале све државе света је Париски климатски споразум (Paris climate accord / Paris climate agreement). Први пут у историји, Париски споразум предвиђа климатске акције свих земаља света, али задржава и принцип заједничке и подељене одговорности. Кроз овај споразум доказује се постојање еколошке мултилатералности и представља нови правни приступ у оквиру међународног права, који задовољава чак и специфичности америчког устава [4]. Предмет споразума је митигација гасова са ефектом стаклене баште, адаптација и финансирање акција до 2020. године у циљу одговора на климатске промене одржавањем степена глобалног загревања испод 2°C, и улагањем напора да се планета не загреје изнад 1,5°C [5]. Члан 3 овог споразума истиче концепт кроз који свака држава одређује, планира и извештава о сопственим доприносима митигацији глобалног загревања. Почевши од 2018. године, идеја је да се на сваких пет година, направи „глобални пресек“ (*global stocktake*) који би показао до ког нивоа је која држава стигла у испуњавању постављених циљева. У мају месецу 2017. године Србија је ратификовала Споразум о клими из Париза.

Осим поменутог и последњег актуелног споразума, Република Србија ратификовала је Оквирну конвенцију о промени климе (UNFCCC) 2001. године, а од 2008. године је чланица Кјото протокола у статусу земље у развоју (не-Анекс I држава), што подразумева редовно подношење извештаја о процени рањивости различитих сектора и система на промењене климатске услове, прорачуне емисија гасова са ефектом стаклене баште, предлог мера митигације, као и да укључи проблем климатских промена у секторске и националне стратегије развоја земље [6]. Србија је, до сада, према Оквирној конвенцији УН о промени климе поднела Секретаријату конвенције:

- Први национални извештај (2010),
- Први двогодишњи ажурирани извештај (2016) и
- Други национални извештај (2017).

Институционално посматрано, Подрегионални виртуелни центар за климатске промене за Југоисточну Европу (South East European Virtual Climate Change Centre - SEEVCCC)

од 2008. године успостављен је у Републичком хидрометеоролошком заводу Републике Србије. Влада Републике Србије 2014. године је формирала Национални савет за климатске промене, а у јуну 2015. године, UNFCCC-у доставила одређене национално планиране доприносе смањењу емисија гасова са ефектом стаклене баште (Intended nationally determined contributions - INDCs) [6]. Достављени доприноси садрже податке који се односе на губитке настале као последице природних и елементарних непогода, уз које се указује на неопходност адаптације на промену климатских услова [6].

Пред Конференцију о климатским променама у Паризу (COP21), средином 2015. године, Србија је поднела Прве намераване националне доприносе смањењу емисија гасова са ефектом стаклене баште за 9,8% до 2030. (у односу на 1990. годину) као и мере адаптације на већ измењене климатске услове у кључним секторима [6].

Према инвентару гасова са ефектом стаклене баште (GHG) који је радила Агенција за заштиту животне средине Републике Србије, највећи удео гасова у 2014. години потиче из сектора енергетике (80,0% укупних емисија GHG), док је удео овог сектора у укупним емисијама 2000. године био 79,2% [6].

Република Србија израдила је листу од 12 националних акција митигације 2012. године, а највећи број мера односи се на секторе снабдевања електричном енергијом (65%), грађевинарства (29%) и саобраћаја (6%) [6]. У сарадњи и финансијску помоћ ЕУ, а у циљу дефинисања дугорочног оквира борбе против климатских промена и конкретних активности за њихово постизање у периоду 2020 - 2050, уз процену смањења емисија до 2070. године, почела је 2016. године израда Националне стратегије за борбу против климатских промена [6].

Према климатским сценаријима рађеним за Србију, до 2030. године може се очекивати раст температуре од 0,5 до 1,5°C, док се максимални пораст од 4,0 до 4,3°C може очекивати током последњих година 21. века [7]. Очекиване климатске промене обухватају и промене у режиму падавина, као и све чешћу појаву екстремних временских догађаја. Последице оваквих промена могу узроковати пораст осетљивости пољопривредне производње и услове гајења пољопривредних култура, као и померање

почетка и завршетка сезоне раста пољопривредних и других биљних врста чији број дана осцилира у зависности од локације. Промене у динамици раста биљака, утицаће на организацију и временски распоред радова у пољу, што може омогућити и две жетве годишње за неке културе.

Мере прилагођавања на климатске промене подразумевају и мере у политичком приступу климатским променама, едукацији пољопривредних произвођача и саветодаваца, одабиру отпорнијих биљних врста, повећању ефикасности наводњавања и прецизном моделовању предстојећих промена. Одређене културе, додатним наводњавањем, могу имати и више приносе као и две жетве годишње, уколико би се мере прилагођавања спровеле правовремено. Према многим студијама, као још једна од последица климатских промена, очекује се миграција термофилних инсеката и других животињских врста са југа ка северу и са нижих ка вишим надморским висинама. Због промена у режиму падавина, температуре и влажности земљишта, већина култура, постаће осетљивија на утицаје штеточина и паразита. Из тог разлога, *Miscanthus x giganteus*, врста која показује могућност адаптабилности на промене условљене променама климатских карактеристика, као и способност митигације климатских промена обрађена је и у овом сегменту у оквиру докторске дисертације.

Због својих вишеструких могућности, као и показаној могућности адаптације на климатске промене, мискантус представља предмет интересовања и у пољу грађевинских материјала, сходно досадашњим истраживањима. Према поменутом Париском споразуму, наводи се да све стамбене зграде до 2037. године морају имати 0 емисија угљеника, како температура не би расла преко 2°C. Према Lumia (2017) [8], стамбени објекти у Европској унији одговорни су за 36% емисије CO<sub>2</sub> и потрошњу 40% укупне количине енергије, док се према Шимуновић и Колић (2009) [9] за грејање простора и санитарне воде троши преко 60% примарне енергије на истој територији. Умањења емисија гасова, нарочито оних са ефектом стаклене баште, али и потрошње енергије у објектима могла би се спровести повећањем енергетске ефикасности објеката који би се у овом смислу могли унапредити термоизолациом објеката, употребом нових грађевинских материјала лако доступних и обновљивих, а који мање оптерећују

животну средину, троше мање енергије за своју производњу, али и унапређењем технологије производње тих грађевинских материјала.

У Јапану се стабљике мискантуса користе за изградњу кровова традиционалних кућа, у Данској се мења употреба трске са употребом мискантуса у грађевини, а поједини истраживачи показали су да је за производњу медијапана погодна влакнаста структура мискантуса, поредећи тако добијени квалитет материјала са медијапаном добијеним од дрвета. Међутим, до сада је шумски отпад био јефтинија сировина за производњу материјала па је истраживање коришћења мискантуса у саставу грађевинских материјала занемарено. Данашњи проблеми са дефорестацијом ову тему поново враћају у фазу истраживања и процене даље комерцијалне употребе мискантуса за производњу грађевинских материјала. Многи истраживачи анализирали су употребу лигноцелулозних биљних врста у грађевинским материјалима који би се могли користити као конструкциони, неконструкциони или термоизолациони материјали, што оправдава и анализу употребе мискантуса за ове сврхе. Растућа потражња за грађевинским материјалима који нису штетни за животну средину је још један од разлога који је покренуо интересовање научника различитих дисциплина за развој флексибилног и одрживог приступа технологији производње оваквих материјала. Од деведесетих година прошлог века, грађевински материјали ојачани природним влакнима развијају се и унапређују у бројним применама као конкурентне замене материјалима раније ојачаваним стакленим влакнима. Предност природним влакнима даје и широка распрострањеност у окружењу, могу се узгајати, имати економичну обраду, поседују и задовољавајуће физичке и механичке особине [10], могу бити пореклом из отпадних природних материја али и из обновљивих извора. Многа природна влакана различите структуре, раније су коришћена у грађевини у фази армирања, а затим и у аутомобилској индустрији због њихове мале густине и ниских трошкова производње, и то су најчешће били: епоксиди конопље, полипропилени од ланених влакана и полипропиленска влакна од трске [11]. Према Mohanty et al. 2000 [11] овакви производи на бази пропилен, у природи су термопластични и могу се лако рециклирати, стварајући тако мање загађење и мању зависност од необновљивих

ресура, што представља још један од разлога за све већу пажњу у различитим гранама индустрије.

Механичке особине природних влакана знатно су ниже у поређењу са најчешће коришћеним конвенционалним материјалима [12]. Међутим, због њихових специфичних својстава, ниске густине и чврстоће при притиску, грађевински неконструкциони материјали на бази природних влакана могу се поредити са вредностима материјала на бази вештачких влакана [15]. Управо из тог разлога један од праваца истраживања ове докторске дисертације представља испитивање могућности коришћења осушеног и уситњеног надземног дела *Miscanthus x giganteus*-а као неконструкционог грађевинског материјала са добрим термоизолационим карактеристикама уз осврт и на истраживање чији су резултати кроз пројектну активност показали могућност коришћења мискантуса у лаким бетонима, а о чему ће више података бити представљено у наредним поглављима.



## 2. ПРЕДМЕТ И ЦИЉЕВИ ИСТРАЖИВАЊА

### 2.1. Предмет, проблематика и преглед досадашњих истраживања

*Miscanthus x giganteus* представља вишегодишњу биљку, веома велике годишње продукције надземне биомасе, за чије је успостављање плантаже потребно припремљено земљиште, што се спроводи и за било коју другу културу. Обзиром да је вишегодишња врста у питању, агротехничке мере потребно је спровести само у првој години, док се у наредним годинама не захтева никакво додатно улагање. Није препоручљиво вршење жетве надземне биомасе након прве и друге вегетационе сезоне јер су приноси занемарљиви за даљу примену [81], али у циљу ослобађања простора за нову вегетациону сезону и уколико су коришћени у фиторемедијацији препоручљиво их је уклонити. Након треће вегетационе сезоне, и свих наредних, приноси достижу максималне вредности које су константе или благо осцилирају у наредним годинама, условљени климатским карактеристикама на терену. Жетва се врши у касну јесен или рано пролеће, када се препоручује и адекватно складиштење [81].

Предност гајења мискантуса огледа се у могућности раста на деградираним и маргиналним земљиштима што се ослања на економску исплативост кроз минималне потребе за улагањем.

Предмет истраживања ове докторске дисертације представља утврђивање еколошких, употребних и митигационих потенцијала врсте *Miscanthus x giganteus*, чији је узгој у Србији почео почетком двехиљадитих година када су успостављене прве плантаже, међу којима и плантажа на огледном пољу ФПЕ Футура.

Према претходно спроведеним сопственим истраживањима, али и прикупљеној доступној литератури, оправданост рада на ову тему је вишеструка. Лигноцелулозни састав мискантуса омогућава његово поређење са другим лигноцелулозним биљкама, као и могућностима примене. Многи до сада објављени радови о морфологији, начину узгајања и употреби *Miscanthus x giganteus*-а указују да је ова тема нарочито актуелна међу истраживачима који се баве заштитом животне средине, њеном ревитализациом и унапређењем, али и употребом обновљивих извора енергије гајењем енергетских биљних врста које су отпорне и способне за адаптацију на предстојеће свезахтевније

услове раста услед климатских промена. Осим њих, ту су и истраживачи који се фокусирају на увођење нових лаких грађевинских материјала на бази природних материјала, а све у циљу одрживог развоја.

Према Monti и Zatta (2009), мискантус има веома плитак корен, са скоро 90% укупне коренске биомасе сконцентрисане на дубини до 35 cm земљишта. Целетовић (2010) написао је и одбранио докторску дисертацију на тему „Утицај азота и густине засада на морфолошке особине и принос биомасе врсте *Miscanthus x giganteus* Greef et Deu“, а затим и објавио низ радова и публикација на тему мискантуса, па тако Целетовић и сар. (2011) описали су морфолошке особине мискантуса, процесе садње, ницања ризома и сл., Целетовић (2014) у публикацији Задужбине Андрејевић објавио је производне одлике и приносе биомасе мискантуса, које се одликују максималним приносима након друге године, док се максимални приноси у хладнијим климатским окружењима остварују након пете године према Clifton-Brown и сар. (2001).

Већи број аутора обрадио је и објавио резултате везане за плантажирање мискантуса, његов раст и жетву, па су тако неки од њих: Fernando и сар. (2008), Миловановић и сар. (2014), Lewandowski и Heinz (2003), Целетовић и сар. (2009).

Током презимљавања мискантуса, нутријенти се из надземних делова биљке повлаче у ризома, што обрађују Dohleman и сар. (2010), а саму успешност раста и презимљавања појашњавају Anderson и сар. (2011), Eppel-Hotz и сар. (1998) као и Heaton и сар. (2009) који су доказали да се азот из листова мискантуса враћа у коренски систем поспешујући способност презимљавања. Према Calsin и сар. (2011) и Zub и Brancourt-Hulmel (2010) највећи степен презимљавања имају поједини варијетети мискантуса, који имају неколико степени нижу толеранцију на мраз у односу на *Miscanthus x giganteus*, док је код ризома највише презимљених било у случајевима када су сађени на дубинама од минимум 6 cm и дубље (Kang и сар. 2010). Сушење стабљика током зиме, могућности употребе мискантуса у екоремедијацији и као енергента објаснила је група аутора са уредником Миловановић (2014) у публикацији „Екоремедијација деградираних простора плантажирањем мискантуса“. Узгајање и понашање мискантуса додатном фертилизациом у Северној Каролини у својој докторској дисертацији обрађује Haines

(2011), а особине 15 генотипова мискантуса на пет места у Европи објашњава Clifton-Brown (2001).

Састав мискантуса још је 1992. истраживао Lange док је његов животни циклус (Life Cycle Assessment – LCA) објашњен кроз више приступа. Перић и сарадници (2018) приказали су потребне ресурсе за формирање и гајење једне овакве плантаже, као и касније утицаје на животну средину приликом жетве и даљег коришћења биомасе. Осим ове, многе друге LCA студије показују резултате испитивања употребе мискантуса у производњи електричне и топлотне енергије. Већина таквих студија фокусира се само на емисије CO<sub>2</sub> које настају током целокупног животног века мискантуса (Morandi и сар. 2016 [13], Parajuli и сар. 2015 [14], Lewandowski и сар. 1995 [15], Lewandowski и Heinz 2003 [16], Styles и Jones 2006 [17], Felten 2013 [18]) или у студијама које се баве испитивањима од тренутка обрађивања поља и садње ризома, па све до постројења за спаљивање биомасе мискантуса (тзв. „cradle-to-gate“ студије) (Smeets и сар. 2009 [19], Murphy и сар. 2013 [20], Clair и сар. 2008 [21]). Утицаји на животну средину узгајања мискантуса могу бити изражени уколико се мискантус узгаја на пољопривредном земљишту (Styles и Jones 2007 [22], Hamelin и сар. 2012 [23]) или на травнатим површинама (Roth и сар. 2013 [24], Zatta и сар. 2014 [25]) чиме се мења његова намена. Набитнији негативни утицај мискантус има уколико се његова биомаса користи за добијање енергије процесом сагоревања где долази до ослобађања одређених концентрација угљен монооксида, азотних оксида, РМ честица и хидрокарбоната (Dagaban и сар. 2015 [26], Schmidl и сар. 2011 [27]).

Lewandowski и сар. (2000) описали искуства узгајања биоенергетског усева *Miscanthus x giganteus*-а у Европи, док су 2003. године описали и неке од услова гајења и жетве, осврћући се на важност доступности воде за његов раст, што у свом раду помињу и Walsh и McCarthy (1998), значајније обрађују Beale и сар. (1999) као и Clifton-Brown и Lewandowski (2000) који истичу да недостатак воде проузрокује старење листова и ограничавајући раст биљке.

Dohleman и Long (2009) истичу могућност веће продуктивности мискантуса у односу на кукуруз при истим условима средине, на шта се осврћу и Heaton и сарадници (2010),

као и Danalatos и сар. (2007) истичући да се без додатног наводњавања могу остварити приноси од 20 t/ha на пољима Јужне Европе. Himken и сар. (1997) навели су да приноси суве материје мискантуса под климатским условима Западне Европе могу достићи и до 30 t/ha.

Време и начин жетве мискантуса зависи од његове даље намене, што помињу и Venturi и сар. (1998) и Consentino и сар. (2007). Кључне карактеристике употребе биомасе одређује и начин складиштења након жетве што у радовима објашњавају Nolan и сар. (2009), Smeets и сар. (2009), Lewandowski и сар. (2000), као и Husman и Korleve (1994) према којима присуство влаге треба да буде највише 15%.

Могућности раста различитих варијетета мискантуса на земљишту контаминираном органским и неорганским полутантнима описали су Nsanganwimana и сар. 2014 [28].

Потенцијал коришћења мискантуса као биоенергетског усева описали су Ji-Hoon Chung и Do-Soon Kim (2012), који су нагласили способност адаптације мискантуса на ниже температуре у односу на остале C-4 биљке којима припада и мискантус.

Потрошња материјала на бази цемента ојачаних биљним влаканима рапидно је порасла, нарочито у земљама у развоју, јер је употребном овог типа материјала могуће произвести лаке грађевинске материјале, са добрим механичким особинама, погодне термичке и акустичне изолације који су економски одрживи. Сходно томе, многи истраживачи анализирали су употребу целулозних биљака у грађевинским материјалима, чије одлике представљају врсте сродне мискантусу: трске (Asdrubali и сар. 2015 и Oldham и сар. 2011), отпадака у прерађивању шећерне трске (Manohar и сар. 2005 и Manohar 2012), рогоза (Luamkanchanaphan и сар. 2012), клипова кукуруза (Pinto и сар. 2012 и Pavia и сар. 2012), стабљика памука (Zhou и сар. 2010), палминих влакна (Singh и сар. 2003), балиране сламе (Goodhew и Griffiths 2005). Традиционално у грађевини, коришћени су многи природни материјали о чему сведоче и радови аутора који су обрађивали историјску употребу материјала. У пракси се најчешће као арматура у бетону, користи челик. Међутим, због расположивости и трошкова производње, циљ новијих грађевинских истраживања јесте замена челика неким другим материјалима

погодним за ојачавање. Тако је као пример издвојен бамбус, који представља природан, јефтин, широко распорострањен материјал који показује задовољавајућу чврстоћу при притиску и затезању материјала [29]. Сврха ојачавања материјала биљним влакнима је да се унапреде својства грађевинских материјала, међутим дуготрајност оваквих влакана у цементном композиту је њихов главни недостатак. Према Khosrow (2005) [30], влакна пореклом из пољопривреде, чији је састав сличан мискантусу, могу бити коришћена самостално или за ојачање различитих типова материјала као што су материјали од земље и композити цемента. Li и сар. (2000) [31] препоручују употребу влакана агаве (*Agave sisalana*) која имају способност ојачавања композита материјала, представљају јефтина и у многим земљама лако доступна и обновљива влакна, мале густине, велике специфичне чврстине, а и здравствено безбедна за употребу. Ramakrishna и Sundararajan (2005) [32] проучавали су варијације у хемијским саставима и чврстоћи при затезању материјала са додацима влакана кокоса, агаве, јуте и хибискуса.

Ashour и сар. (2010) [33] користили су пшеничну сламу, јечмену сламу и струготине дрвета као влакна за ојачавање гипсаног малтера. Резултати су показали да је топлотна проводљивост материјала опадала са повећањем садржаја влакана и расла са повећањем садржаја песка. То се може појаснити већом порозношћу материјала услед вишег садржаја песка, што утиче на бољу топлотну проводљивост материјала. Harvey и Hutchens (1995) [34] године истражили су могућност производње медијапана од мискантуса чији су квалитет затим упоредили са квалитетом медијапана добијеним од комадића дрвета. Због лакше доступности дрвета, као и отпадака дрвета, употреба мискантуса у ове сврхе била је запостављена. Мастер рад Александра Костића (2018) говори управо о употреби мискантуса у изради грађевинских материјала у комбинацији са електрофилтарским пепелом, док је на ту тему објављено и неколико радова Савић и сар. (2018), Јелић и сар. (2018) и др.

Villaverde и сар. (2009. и 2010.), као и Cappelletto и сар. (2000), вршили су бројна испитивања о могућем коришћењу *Miscanthus×giganteus*-а у производњи папирне пулпе [35], [36], [37] у Европским земљама.

Осим пулпе, влакна мискантуса се могу користити и у производњи компоста, шта су утврдили Kresten Jensen и сарадници, уочивши да је на супстрату у чијем је саставу компост мискантуса добро успевао бршљен [38].

## 2.2. Циљеви и задатак истраживања

**Циљ истраживања** представља праћење еколошких карактеристика врсте, њене адаптабилности на климатске услове наших простора, а затим и способности фиторемедијације земљишта, где се након тога биомаса може употребити као енергент и неконструкциони или конструкциони грађевински материјал.

## 2.3. Полазне хипотезе

*Еколошки потенцијали:* Истраживање ће допринети утврђивању зависности параметара раста и развоја и производње биомасе *Miscanthus x giganteus-a* од агроколошких и климатских чинилаца у Србији, са посебним нагласком на адаптабилност врсте на деградираним и маргиналним земљиштима.

*Употребни потенцијали:* Потврђена могућност израде неконструкционих (материјала са добрим термоизолационим особинама) или конструкционих грађевинских материјала добијених на бази уситњеног *Miscanthus x giganteus-a* уз додатак везивних компонената.

*Митигациони потенцијали:* Праћење и поређење способности адаптације *Miscanthus x giganteus-a* на промене у режиму падавина и промене температуре ваздуха указале су на способност ове врсте да ублажи последице климатских промена на локалитету на ком се узгаја.

Митигациони потенцијал грађевинских материјала добијених на бази уситњеног *Miscanthus x giganteus-a* у односу на конвенционалне материјале огледа се у смањеном еколошком отиску производа.

### 3. *MISCANTHUS X GIGANTEUS* (Greef et Deu.)

*Miscanthus x giganteus* (мискантус), брзорастућа вишегодишња трава (позната и под називима кинеска шаш и слонова трава), пореклом је из региона Источне Азије где се историјски користила као кровни материјал за помоћне објекте у којима су смештене животиње, а ретко и за њихову исхрану. Род *Miscanthus*, таксономски припада фамилији *Poaceae* [39].

Мискантус је у Европу донет почетком тридесетих година двадесетог века, када почиње испитивање везано за могућност употребе биомасе у енергетске сврхе. У Србији су се први варијетети мискантуса појавили у приватним расадницима од 2001. године [40]. Renvoize (1992) поделио је род *Miscanthus* у 14 различитих врста, иако се у неким другим литературним изворима помиње и 20 варијетета (Liu и сар. 2013) [41].

Мискантус се узгаја широм Европе, о чему сведоче бројни литературни извори. Узгајање се спроводи од медитерана па све до јужних делова Скандинавије. Продукција биомасе подразумева процесе који укључују припрему земљишта, садњу, регулацију и уклањање евентуалних корова и штеточина, жетву, транспорт и складиштење.

#### 3.1. Морфологија

Генотип *Miscanthus x giganteus* (Greef et Deu.) подразумева триплоидни стерилни хибрид, настао укрштањем диплоидног *Miscanthus sacchariflorus* и тетраплоидног *Miscanthus sinensis* [40]. Базични број хромозома рода *Miscanthus* је 19, а триплоидни *Miscanthus x giganteus* има 57 соматичних хромозома ( $2n = 3X = 57$ ). С обзиром да је хибрид, порекло овог броја хромозома је из *Miscanthus sacchariflorus* ( $2n = 2X = 38$ ) и *Miscanthus sinensis* ( $2n = 4X = 76$ ) (Greef и Deuter, 1993) [42]. Као последица његове стерилности, не може образovati фертилно семе [40].

*Miscanthus sinensis* цвета и показује знаке физиолошког старења, док је ситуација код *Miscanthus x giganteus*-а таква да се задржава у вегетативној фази све до прекида животних функција као последице хладноће (Џелетовић и сар. 2007) [43]. Време цветања је често повезано са периодом активације нутријената из ризосфере. Нешто раније цветање *Miscanthus sinensis* показује мање коришћење нутријената у односу на

*Miscanthus x giganteus*, што се одражава и на мањи принос биомасе *Miscanthus sinensis*-а (Lewandowski и сар. 2003) [44]. Генотип *Miscanthus sinensis* чешће показује инфериорнији укупан потенцијал усева у односу на *Miscanthus x giganteus* (Hotz и сар.1996) [45], међутим у севернијим и хладнијим деловима, као што је Данска, *Miscanthus sinensis* донет из Јапана, може формирати усеве и приносе сличне *Miscanthus x giganteus*-у (Jørgensen 1997) [46].

Према Monti и Zatta (2009) [47], мискантус има веома плитак корен, са скоро 90% укупне коренске биомасе сконцентрисане на дубини од 0 до 35 cm земљишта. И ако је површински највише сконцентрисан, дубина до које долазе коренови мискантуса је и преко 2 метра (Neukirchen и сар. 1999 [48], Riche и Christian 2001 [49]), па на тај начин може црпети влагу и током сушних периода вегетационе сезоне.

## **3.2. Технологија гајења мискантуса**

### **3.2.1. Вегетативни циклус**

Мискантус се сади у пролеће када температура земље буде око или мало изнад 10°C, расте током лета, а највећи принос даје у јесен [209]. Након садње ризома, уколико су повољни атмосферски услови, ницање почиње након 7 до 10 дана (Целетовић и сар. 2011) [50]. Сматра се да за ницање и почетни раст биљке користе резерве нутријената које се налазе у ризомима (Lewandowski и сар. 2000) [51]. Ницањем се на површини појављују неозелењени изданци који су у почетку смеђе боје, затим јарко па бледо црвене, а на крају млечно наранџасте боје, заштићени танким и кратким припијеним листовима. Озелењавање изданака акумулацијом хлорофила настаје други или трећи дан након ницања и то од врха биљке ка тлу (Целетовић и сар. 2011) [50].

Током пролећа и лета из једног посађеног изданка најчешће прво ничу 1 или 2 неозелењена изданка, а касније током пролећа и лета појављују се нови изданци чије је зелењење много брже. У наредним годинама број првих пролећних изданака је вишеструко већи (Целетовић 2012) [52]. Након јесени, нутријенти се повлаче у ризосферу, која на пролеће представља добар извор нутријената и карбохидрата за поновни раст биљке у следећој вегетативној сезони (Dohleman и сар. 2010) [53]. Овакав природни ток нутријената омогућава оптималан раст мискантуса, без додатних потреба



за ђубрењем. Многи подаци о приносу биомасе показују да усеви нису показали значајно ефикаснији раст додатним третирањем вештачким ђубривима (додатком азота и фосфора), па ни приноси нису увек били виши (Haines 2011) [54].

С обзиром да је мискантус стерилни хибрид, природно израста искључиво из подземних органа (ризوما), па тиме његово неконтролисано ширење на околне површине није могуће. То га чини неинвазивном врстом, мада се у неким земљама налази на листи инвазивних. Ризоми мискантуса могу бити прекинути (исечени), а одсечци коришћени за поновно сађење нових биљака.

Успешност презимљавања ризома након прве године од оснивања плантаже је битан фактор који одређује да ли ће мискантус моћи да се култивише на вишим географским ширинама (Anderson и сар. 2011) [55]. То је наравно битно само у првој години, јер је мискантус отпорнији на хладноћу у наредним вегетативним сезонама. Важно је поменути да су Heaton и сар. (2009) доказали да се азот из листова мискантуса враћа у коренски систем поспешујући способност презимљавања [56].

*Стабло* мискантуса је усправно, према правилу се не грана, а унутрашњост му је испуњена паренхимом који образује чврсто језгро, где су зелена стабла посебно богата растворљивим шећерима, високог садржаја целулозе, шећера и лигнина (Lange 1992) [57]. Стабло мискантуса достиже висину:

- У првој години након садње од 1 до 2 метра,
- У другој години након садње преко 2 метра,
- У трећој и наредним годинама преко 2,5 метара, па и до 4 метра.

Од средине септембра до краја октобра на врховима стабљика мискантуса образују се метлице и то на највишим стабљикама. Оне се, углавном, образују на биљкама које расту на парцелама које нису додатно ђубрене, док код биљака гајених на парцелама са додатним ђубрењем формирање метлица најчешће изостаје (Целетовић 2010) [58].

*Листови* мискантуса се састоје из дела припијеног уз стабло и дела који се слободно шири у простору. Млади листови су меки, савитљиви и зелени, док старењем листови постају крући. Формирање листова почиње од нижих делова стабла, који уједно представљају најуже и најкраће листове на стабљници (Целетовић 2010) [58]. Сваки

следећи лист је по редоследу образовања на стаблу шири и 30-60% дужи у односу на претходни, па се према томе после 8-10 листова образује најдужи и најшири лист (Целетовић 2010) [58]. Након тих листова, сви наредни су исти или краћи. Ширина листова креће се у распону од 0,7 до 1,3 cm за доње листове, од 1,3 до 1,8 cm за средње листове и од 1,9 до 2,6 cm за горње, вршне листове (Целетовић и сар. 2011) [50]. У току вегетационе сезоне, у периоду од краја јула месеца, ниже лишће на стабљикама мискантуса почиње да се суши, што се убрзава у току јесени (Слика 3.2.1.1. Поље мискантуса у октобру месецу 2018. године).



Слика 3.2.1.1. Поље мискантуса у Ноћају, октобар 2018. године (фото: И. Шеклер)



Слика 3.2.1.2. Поље мискантуса у Ноћају, децембар 2017. године (фото: Д. Алексић)

Када осушено лишће опадне, образује се лисна стеља. Преостали листови на стабљикама се ваздушасто суше измрзавањем, а стабљика се исушује током зиме (Слика 3.2.1.2. Мискантус током зиме на огледном пољу ФПЕ Футура) до релативно ниског садржаја воде (30-50%) (Миловановић и сар. 2014) [40]. Након друге године, на крају вегетативне сезоне, мискантус достиже висину од 3 до 4 m и принос од 10 до 30 t/ha (у зависности од локалитета и локалних агрономских карактеристика) (Clifton-Brown et al. 2001) [59].

За развој свих биљних врста, па тако и мискантуса, неопходна су осунчаност, падавине и адекватна температура. Како је неопходан биолошки процес за продукцију биомасе фотосинтеза, тако сви фактори који на њу утичу морају бити разматрани. При веома

ниским температурама, многе биљне врсте не могу да врше процес фотосинтезе. Доњи праг фотосинтезе код мискантуса је 6°C што је значајно ниже у односу, на пример, на кукуруз [40]. Тиме се постиже потенцијално дужа вегетациона сезона мискантуса, јер на смањење трајања сезоне раста највише утичу касни пролећни мразеви који уништавају ране пролећне листове (Dohleman 2009) [60]. Када се пореди понашање и процес фотосинтезе мискантуса и кукуруза у тренутку када се температура са 25°C спусти на 14°C, ниво фотосинтезе у обе врсте опадне за 2 дана. Након тога, мискантус се опоравља, док кукуруз наставља без опоравка (Heaton и сар. 2010) [61].

Мискантус припада C4 фотосинтезним биљкама што представља одличну комбинацију за потребном светлошћу, водом и потребама за нитратима [40]. Захваљујући својим способностима, има могућност адаптације на ниже температуре у односу на остале C4 биљке, па се и очекују високи приноси при нижим температурама (Chung, Kim 2012) [62].

Једна од кључних предности C4 биљака јесте у високој ефикасности коришћења доступне воде. Мискантус је високо продуктиван у влажним срединама, па се из тог разлога на влажним теренима може очекивати и већи принос (Walsh, McCathy 1998) [63], док је осетљив на недостатак воде [44]. Недостатак воде проузрокује старење листова и отежан раст биљака (Clifton-Brown, Lewandowski 2000) [64], па је препоручљиво у току прве године након заснивања извршити наводњавање, уколико падавине и ниво влажности земљишта није задовољавајући. У каснијим годинама, дубоко укореењени усеви су издржљивији када је недостатак воде у питању, због кореновог система који из дубина извлачи воду. За развој биомасе у сушним пределима, где је снабдевање биљке водом ограничено, ефикасност коришћења и везивања воде је значајан аспект за развој усева. Beale и сар. (1999) утврдили су да *Miscanthus x giganteus* постиже ефикасност коришћења воде од 9,5 g/kg у кишним условима, што је висока вредност типична за C4 врсте [65]. О томе да је ефикасност искоришћења доступне воде *Miscanthus x giganteus*-а већа него кукуруза сведоче и бројне студије.

Степен презимљавања засађених ризома зависи од дубине садње. Ризоми који се саде на дубинама од 1 cm показали су најмањи степен презимљавања, док су они сађени на дубинама вишим од 6 cm показали најбољи степен презимљавања (Kang и сар. 2010)

[66]. *Miscanthus sinensis* и *Miscanthus sacchariflorus* су толерантнији на мраз од *Miscanthus x giganteus-a*. *Miscanthus sinensis* може бити толерантан на температуру од -5 °C, док ризом *Miscanthus x giganteus-a* може да презими када је температура земљишта до -3°C (Calsin и сар. 2011) [67] док млади надземни изданци могу издржити до -8°C (Zub, Brancourt-Hulmel 2010) [68] али уз могуће веће губитке. Проблем презимљавања је карактеристичан за прву годину након садње, док за наредне године проблеми презимљавања нису забележени [58]. Према Clifton-Brown and Lewandowski (2000), нижи садржај влаге у ризомима повезан је са повећањем отпорности на мраз [64].

Након три године од периода заснивања, под климатским условима Западне Европе, приноси суве материје мискантуса достижу до 30 t/ha и коначном приносу жетве наредног пролећа од 15 до 18 t/ha (Himken и сар.) [69]. У зависности од климатских услова, потпуна заснованост састојине мискантуса постиже се од друге до пете године (Џелетовић 2012) [52]. Топлији, јужни крајеви Европе, одликују се максималним приносима већ након друге године, док у севернијим, хладнијим условима након пете године (Clifton-Brown и сар. 2001) [70].

### 3.2.2. Плантажирање

За оснивање плантаже *Miscanthus x giganteus-a*, неопходна је припрема парцеле, која може бити маргинално земљиште, како се пољопривредно земљиште на ком се гаји или постоји потенцијал за гајењем пољопривредних врста не би заузимало. Та маргинална земљишта су обично лоцирана на сушнијим или хладним местима. У вези са тим, адаптивност усева представља основу за развој плантаже. Један од кључних еколошких фактора за развој усева и биомасе је температура, од које зависи фотосинтеза биљке и њен даљи развој (Chung и Kim 2012) [62].

Мискантус расте и даје прихватљиве приносе на различитим типовима земљишта, од песковитог до земљишта са високим садржајем органске материје (Џелетовић 2012) [52]. Толерантан је на широк распон рН вредности, уз оптимум између 5,5 и 7,5. Због мање конкурентности са коровима, заснивање мискантуса је боље на песковитим земљиштима, међутим на дужи временски рок приноси су већи на тешким земљиштима са добром приступачношћу воде (Џелетовић 2012) [52], па је из тог разлога

најзначајнија одлика земљишта заправо његов водни капацитет (Lewandowski и сар. 2003) [51].

Након одабира локације, препоручљиво је у јесен (пре садње у пролеће) парцелу испрскати одговарајућим хербицидом (нпр. глифосат – *Glyphosate*) како би се усеви заштитили од вишегодишњег корова (Миловановић и сар. 2014) [40]. Дубоким орањем током зиме, потребно је на парцели спречити збијање подповршинског земљишног слоја, док пролећно орање може бити погодно на лаким земљиштима. У пролеће, непосредно пред садњу следеће године, парцелу је потребно истањирати. То ће, осим помагања дубоком укореењивању, обезбедити и ефикасност резидуалног хербицида примењеног након садње (Дражић Г. и сар. 2007) [71].

Како је *Miscanthus* x *giganteus* стерилан хибрид, тако се за даље добијање садног материјала и ширење парцеле врши пропaгација, која може подразумевати одсецање ризома на више мањих (тзв. макропропaгација) или микропропaгација (Bullard 2001) [72]. Макропропaгација тј. дељење ризома је примењивије и препоручљивије, јер је може обавити сам власник усева, а представља јефтинији начин и даје јаче биљке. За добијање новог садног материјала, користе се биљке у периоду зимског мировања које су старе две или три године. Први пут је овакав начин пропaгације спроведен у Данској (Jørgensen 1997) [46], где се парцеле пре вађења ризома обраде ротационим култиватором, да би се ризоми испресецали на одсечке од по 20-100 грама, а затим извадили и прикупили вадилицом за кромпир или вадилицом луковица (Целетовић 2012) [52].

Одсечци ризома (Слика 3.2.2.1.) морају да испуне основне услове, и то: да имају минимум 2-3 пупољка и да сачувају влажност до поновног сађења, што ће се најбоље постићи чувањем ризома у хладњачама, на температури испод 4°C, а најдуже до 1 године (Hansen и Kristiansen 1997) [73]. Уколико је потребно краткорочно чување, одсечци се могу оставити у пољу, прекривени влажном земљом.

За време садње, потребно је обратити пажњу на оптималну густину садње која у зависности од услова, локалитета и касније намене биомасе може бити 15000 биљака по хектару (0.75 x 1.0 m<sup>2</sup>) (Fernando и сар. 2008) [74] или 20000 биљака (1.0 x 1.0 m<sup>2</sup>) за наше услове. Ризома не треба садити плиће од 5 cm, с обзиром да је највећи степен

презимљавања забележен управо за усеве сађене дубље од 6 cm (Kang и сар. 2010) [75]. Erpel-Hotz и сар. (1998), закључили су да биљке пропагиране из ризома имају мању осетљивост на утицај мраза у току зиме у односу на биљке које су микропропагиране [76].

Оптimalан период садње је у марту или априлу месецу, што утиче на продужетак сезоне раста користећи на овај начин предности влажног земљишта у том периоду године, а омогућава се и развој већих ризомских система. Као такви, ризомски системи су снажнији и у наредним годинама отпорнији на сушу и смрзавање.

Садња ризома се може обавити ручно, коришћењем полуаутоматске саднице за кромпир или наручивањем специјалне саднице. Уколико се користи садница за кромпир, према Миловановић и сар. (2014), ризоме је неопходно разврстати и издвојити оне који су већих димензија од промера цеви саднице, како не би дошло до заглављивања. Особа која руководи садницом, након разврставања потребно је да убаци ризоме у левкасти суд за пуњење или у цеви саднице. Растојање међу биљакама може се одредити брзином окретања земљишног точка. После стављања ризома у бразду, садницу би требало да прати ваљак који би прекрио ризоме земљом и помогао збијање. Ова техника има низак радни учинак (свега 0,3 ha/h), али обезбеђује прецизну садњу, адекватну контролу дубине постављања ризома приликом садње, као и високу ефикасност садње (95%) [40].



Слика 3.2.2.1. Ризом пореклом од старе материнске биљке  
(Фотографија преузета од: Г. Дражић, 2008.)

Компанија „Hvidsted Energy“ из Данске, конструисала је за потребе садње мискантуса посебну садницу која сади ризоме у два реда плитких бразди претходно отворених раоницима. Одмах по убацивању ризома у бразде, земља се враћа и прекрива ризоме, а затим се површина земље изваља. Може се извршити калибрација на различите густине садње, а резултати су показали просечну ефикасност заснивања плантажа од 92% уз радни учинак од 1,25 ha/h (Миловановић и сар. 2014) [40].

Годишње потребе мискантуса за ђубривом су изражено ниске из разлога високе стопе искоришћавања нутријената које након вегетативног периода складиште у ризосфери, а након тога у фази раста поново користе [135]. Потребе за хранљивим материјама у току наредних сезона подмирују се од резерви хранива у ризомима, разлагања лисних остатака, природних земљишних резерви хранива и атмосферских таложења. Зрели ризоми акумулирају више хранљивих материја него што је усеву потребно. Из тог разлога, млади ризоми могу имати потребу за веома малом количином додатних материја, која се у прве две године може надоместити уношењем стајњака или отпадог муља (Beale и Long, 1997) [77]. Ефекти додатног ђубрења усева мискантуса могу зависити од локације до локације. Три спроведене студије показале су да додатно уношење азота показује мале или незабележене ефекте на раст *Miscanthus x giganteus*-а (Chung и Kim 2012) [62].

Контрола корова у фази заснивања плантаже је неопходна, јер корови конкуришу усевима за воду, светлост и хранљиве материје, која могу смањити принос мискантуса. Мискантус је сврстан у категорију биљака која може користити хербициде за житарице, траве и кукуруз. Код мискантуса је познато да се може појавити вирус жуте патуљавости јечма (енгл. *barley yellow dwarf virus* – BYDV) који касније може бити ограничавајући фактор приноса биомасе [40]. Осим тога, на плантажама широм Европе познато је и обољење базалног дела стабла, које може инфицирати стабљике у јесен или зиму што даље редукује њихову чврстоћу. Што се тиче инсеката, познато је до сада да се обични сеоски мољац и ларве аветињског мољца могу хранити на мискантусу и проузроковати даље проблеме у будућности. Подаци о осталим штеточинама у Европи нису познати.

Без видљивих оштећења на усева, у Данској и Великој Британији ефикасно су употребљиване разне врсте хербицида, али на усевима који нису израсли у висину више од 1 метра [40].

### **3.2.3. Жетва и складиштење**

Највећу биомасу мискантус образује почетком октобра, што се подудара са падом температуре, након чега почиње потпуно сазревање и сушење усева са појавом првог мраза (Christian и Naase, 2001) [78]. Жетва се може вршити у зиму или рано пролеће. Време жетве битно одређује и даља намена биомасе. Резултати ране жетве обављене у децембру месецу показују веће енергетске приносе, док их одлагање жетве снижава. Приноси биомасе у децембру у Немачкој износили су од 187 до 528 GJ/ha, док се ови приноси смањују од 14 до 15% од децембра до фебруара и даље (Lewandowski и Heinz, 2003) [79]. Самим тим је и вредност нутријента у надземним деловима биљака минимална. Основни услов за вршење жетве у рано пролеће представља одсуство веће количине влаге у самом земљишту што може ометати рад механизације, а која може бити последица топљења снега и падања киша након зиме и раног пролећа. У циљу постизања дужег периода жетве, усев се може пожњети влажан и сушити вештачки, али и бити силиран и одложен на сушење (Husman и Korleve, 1994) [80].

Након прве вегетативне сезоне принос мискантуса је свега 1-2 t/ha, што је недовољно за даљу употребу, па се жетва не препоручује, али је препоручљиво уклонити стабљике до почетка наредне вегетативне сезоне, како би нове стабљике могле да расту без препрека. Након друге вегетативне сезоне, жетвени приноси крећу се 4-10 t/ha (ређе до 13 t/ha), што такође није препоручљиво за даљу комерцијалну употребу биомасе, али стабљике треба уклонити због раста нових биљака у следећој вегетативној сезони. Жетвени приноси након треће године су најмање 10 t/ha, а најчешће 20 t/ha па се жетва препоручује [81]. Након треће године, годишњи приноси се крећу од 15 до 20 t/ha, у зависности од локације и услова раста [40]. Најчешћи разлог варирања приноса је у корелацији са густином садње, типом и влажношћу земљишта, као и климатским условима. Забележени приноси на парцели са песковитим земљиштем, природно дренираним и на надморској висини од 300 m у Јоркширу, нижи су од 9 t/ha годишње (Целетовић и сар. 2009) [81]. Према Danalatos и сар. (2007), приноси у Јужној Европи на



наводњавањем огледима премашују 30 t/ha, док се без наводњавања може очекивати принос од 20 t/ha суве масе годишње [82]. Приноси мискантуса преко 30 t/ha суве масе, забележени су на локацијама у јужној Португалији, где је натпросечна вредност инсолације била 6200 MJ/m<sup>2</sup> и просечне ваздушне температура 15,4 °C, али уз наводњавање усева [40]. У Централној и Северној Европи (у пределима од Аустрије до Данске), где су просечне вредности сунчевог зрачења и просечне температуре ваздуха ниже, усеви без наводњавања остварили су принос од 10 до 25 t/ha суве масе (Lewandowski и сар. 2000) [51]. Европски приноси се могу поредити са подацима Pyter и сар. (2009), где су приноси мискантуса у Илионсу (САД), били у просеку 22 t/ha суве масе у северном Илионсу, 34,7 t/ha суве масе у централном Илионсу и 35,4 t/ha суве масе у јужном Илионсу за три године комплетног истраживања [83].

Преглед годишњих приноса биомасе мискантуса према Chung и Kim 2012 [62] у појединим европским земљама које се баве узгајањем мискантуса дат је у табели 3.2.3.1.

Табела 3.2.3.1. Годишњи приноси биомасе мискантуса (тона/хектар) у неким европским државама (према Chung и Kim, 2012) [62,40]

<b>Земља</b>	<b>Принос (t/ha)</b>
Данска	5 – 15
Немачка	4 – 30
Велика Британија	10 – 15
Швајцарска	13 – 19
Аустрија	22
Шпанија	14 – 34
Грчка	26 – 44
Италија	30 – 32

Када се одреди време жетве биомасе мискантуса, могу се користити различите бројне машине у зависности од терена и доступности машина.

Усеви се прво секу косачицом и остављају на пољу да се осуше на природној температури, струјању ваздуха и светлости који омогућавају сушење. Такви откоси се касније:

- 1) Балирају за потребе енергетског коришћења, коришћења у грађевинским материјалима, као простирка за животиње или у производњи папирне пулпе; што представља најпрепоручљивији метод сакуљања са поља. Балирање се врши балиркама које врше балирање сена или сламе, а производе различите облике бала (коцкасте, правоугаоне и округле). Густина суве материје у балама округлог облика требало би да износи око  $130 \text{ kg/m}^3$ , док код бала правоуганог облика нешто више и то око  $150 \text{ kg/m}^3$  (Venturi и сар.1998) [84].
- 2) Везивање у снопове (свежњеве) целих биљака за потребе геотекстила и грађевинских материјала везаних у снопове (каратаван). Овакав вид сакуљања биомасе омогућава њено сушење.

За правилно изведену жетву на већим површинама, може се користити силажни комбајн, а машинерију треба прилагодити према најчешћој просечној висини мискантуса (2,0 - 3,5 m), али и чврстини усева мискантуса. Стабљике мискантуса могу поднети ниско кошење [40, 81].

За даљу употребу биомасе сакупљене у бале или снопове, кључан услов је садржај влаге након жетве. Што је усева сувљи то су веће вредности бала и енергетски приноси уколико се биомаса користи у енергетске сврхе. Најнижи садржај влаге који је познат за усева у Јужној Европи је 15%, док је та вредност за Велику Британију износила 20%. Према Husiman и Kortleve (1994), за дуготрајно складиштење биомасе присуство влаге треба да буде највише 15% [80]. Уколико је присутност влаге виша, на пример око 25%, може доћи до развоја плесни (Целетовић 2012) [52], што се може спречити природном вентилацијом након складиштења.

Складиштење бала може бити:

- под кровном конструкцијом, што захтева више улагања, али обезбеђује сигурније складиштење и очување биомасе, а може се остварити и додатни губитак влаге од 11% (Nolan и сар. 2009) [85];

- под керадним или пластичним покривкама, а забележено је и покривање органиским отпадним материјалом, што је исплативо само уколико је он лако доступан, јефтин и одговарајући (Smeets и сар. 2009) [86].

До самозагревања и спонтаног самозапаљења ускладиштеног материјала може доћи код бала са већим густинама, ограниченим протоком ваздуха и при садржају влаге изнад 25%. Бале са густином мањом од  $250 \text{ kg/m}^3$ , као и оне у којима је омогућена вентилација могу се складиштити без брига о самозапаљењу (El Bassmam и Huismann, 2001) [87].

Складиштење мискантуса може бити и силирањем, за шта је потребно пре свега уклонити вишак ваздуха, најбоље збијањем пре прекривања новим количинама. Сабијање може бити преласком трактора преко биомасе или пресом, чиме се може остварити и смањење влаге са 55 на 40%, као и смањење минералног садржаја (Lewandowski и сар. 2000) [51] што је битно постићи уколико се биомаса жели користити за сагоревање.

Приноси биомасе мискантуса зависе од времена жетве. Просечни приноси у јесен су већи од приноса у пролеће. Максимални принос суве биомасе између 25 и 30 t/ha добили су Nimken и сар. (1997) у жетви обављеној у септембру [69]. Максималне приносе суве биомасе крајем октобра добили су Consentino и сар. (2007) на Сицилији, док су одлагањем жетве до фебруара ти приноси били изгубљени за 33-34% биомасе, највише због опадања сувог лишћа [88]. О смањењу приноса суве биомасе одлагањем жетве до пролећа услед опадања лишћа и евентуалног ломљења и полагања усева сведочи и Lewandowski и Heinz (2003) [79].

Приметне разлике у оствареним приносима указују на деловање избора садног материјала, примењених агротехничких мера и комплексни утицај услова животне средине, а пре свега, падавина и одговарајуће температуре ваздуха и земљишта. То отвара широко поље за даља истраживања адаптабилности *Miscanthus* x *giganteus*-а, као и постизање стабилних приноса у Србији.

## 4. МЕТОДОЛОГИЈА РАДА

### 4.1. Прикупљање и обрада података

Приликом израде ове докторске дисертације, у току научног истраживања, прегледа доступне литературе, формулисања и представљања резултата истраживања примењено је неколико научних метода.

Методе које су коришћене у прегледу доступне литературе и досадашњих истраживања су методе анализе, синтезе, компарације, индукције и дедукције.

Полазна тачка истраживања представља праћење параметара раста и развоја врсте *Miscanthus x giganteus* на парцели огледног поља успостављеној за потребе истраживања ове докторске дисертације, а у саставу Факултета за примењену екологију Футура (Слика 4.1.1.) у селу Ноћај код Сремске Митровице.



Слика 4.1.1. Огледно поље ФПЕ Футура у селу Ноћај код Сремске Митровице (фото: Димитрије Алексић)

### 4.2. Успостављање огледног поља у селу Ноћај

Оснивање експерименталне плантаже обухватило је припремне активности, садњу и примену агротехничких мера. На огледној парцели претходно је било вегетацијско растиње, које је карактеристично за влажно станиште, попут Засавице, која представља шири локалитет. Да би се успоставила плантажа, претходно је уклоњено растиње, а

земљиште узорано крајем марта 2009. године, с обзиром да је у питању лако земљиште које може бити узорано у пролеће. Садња ризома извршена је у априлу 2009. године, када је температура земљишта прелазила 10°C, што је потребна температура да би се плантажа могла успоставити. Засад ризома 2009. године подразумевао је ручну садњу на дубини од 10 до 15 cm. Ризоми су били димензија 6 x 6 cm, а густина садње 1 ризом по 1m<sup>2</sup>. Могуће је густину садње и повећати, али се у том случају може десити да због међусобне конкурентности принос буде нешто нижи од просечног [77]. У првој години након садње извршено је сузбијање корова и то средствима која се користе у производњи кукуруза [88]. Могуће је и механичко уклањање корова, у циљу омогућавања идеалних услова за раст и развој мискантуса. Наредних година, сузбијање корова се врши спорадично механички, јер мискантус расте брже од пратећих коровских врста, па хемијска средства за сузбијање нису коришћена.

Мискантус је осетљив на штеточине и обољења која су присутна на локалитетима одакле је и његово природно порекло (Азија), док у Европским засадама није било сличних података.

Додатна ђубрења терена нису вршена, јер количина опалог лишћа током зиме обезбеђује довољно нутријената. У почетној фази раста мискантус користи складиштене резерве хранљивих материја из ризома, док у каснијем, зрелом периоду биљке, из земљишта по тони приноса годишње извуче 2 kg азота, 0,1 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 3,5 kg K<sub>2</sub>O и 0,1 kg MgO [40].

Проширење плантаже, садњом нових ризома у наредним годинама спроводило се дељењем ризома, што је у односу на микропропагацију значајно ефикасније тј. јефтиније и у већини случајева, даје приносе снажнијих биљака. За производњу нових материјала за сађење користе се биљке старе 2 или 3 године, које се у периоду зимског мировања раздвајају ротационим култиватором, а одсечци (делови) ризома сакупљају за ново сађење. Сваки одсечак мора имати најмање 2 - 3 пупољка. Ризоми се до садње чувају у хладњачама на температури нижој од 4°C, како би сачували влажност и то најдуже једну годину [73]. Краткотрајно складиштење ризома може се извршити на пољу, тако што се ризоми одложе у гомиле и прекрију влажном земљом. Садња се потом врши у рано пролеће (оптимално март – април), како би се искористиле

предности влажног земљишта што омогућава развој већих ризомских система, који су у наредним годинама толерантнији на сушу и измрзавање [40]. Могуће је садњу осим ручно, вршити и уз помоћ механизације за садњу кртоластих култура (нпр. кромпира), где је пре свега потребно отклонити ризома мањих димензија који би могли упасти у цев садилице која има веће димензије [40]. Компанија „Hvisted Energy“ из Данске, конструисала је специјалну садилицу за мискантус чија се густина садње може калибрисати према потреби, а која ради на принципу садње ризома у 2 реда, у претходно отворене плитке бразде. Након садње се земља враћа и прекрива ризома, а резултати садње овом механизациом показали су ефикасност заснивања од 92% [40]. Није препоручљиво ризома садити у фино обрађену земљу где би, након ваљања аутоматизацијом, однос између ризома и земљишта био неадекватан. Због слабог контакта ризома са земљом, они би били изложени сушењу, а све то би затим резултовало смањеном ефикасношћу заснивања од свега 22% [89].

#### 4.2.1. Праћење морфолошких карактеристика *Miscanthus x giganteus*-а

Параметри раста и развоја *Miscanthus x giganteus*-а праћени су након треће године од заснивања плантаже, с обзиром да је у првој и другој години принос биомасе минималан и да се жетва тих година не врши, већ тек након треће вегетативне сезоне. Праћени параметри забележени су током вегетационих периода, од 2012. до 2018. године, у укупном трајању од 7 година, на произвољним узорцима са парцеле величине 10 ha.

Параметри који су посматрани су следећи: висина стабла (Слика 4.2.1.1.), број листова, број зелених листова, број осушених листова, број листова који старе, дужина зеленог дела листа, ширина листа, пречник стабла, број изданака, садржај влаге у земљишту и рН вредност земљишта.



Методологија праћења параметара раста и развоја биљака мискантуса је следећа:

- *Висина стабла* мери се тако што се издвоји највиши изданак у жбуну мискантуса.
- *Број листова* одређује се пребројавањем укупног броја листова на издвојеном највишем изданку, од којих се посебно бележи *број осушених* и *број зелених листова*.
- *Број листова који старе* (Слика 4.2.1.2.) подразумева пребројавање листова који су у фази сушења/старења на једној стабљивици, највишој у жбуну.

Слика 4.2.1.1. Мерење висине стабла мискантуса на огледном пољу (Фото: Ивана Шеклер)  
просечна вредност дужине свих зелених листова те стабљике.

- *Ширина листа* мери се као просечна ширина најдужег листа на стабљивици.
- *Пречник стабла* изражава се као просечна вредност пресечене највише стабљике.
- *Број изданака* мери се пребројавањем укупног број изданака у једном жбуну мискантуса и израчунавањем просечне вредности од 5 насумично одабраних жбунова мискантуса на парцели.
- *Садржај воде у земљишту* одређује се мерењем масе влажног узорка земљишта на техничкој ваги, сушењем измереног узорка природним путем 7 дана, а затим поновним мерењем масе осушеног узорка, где је добијена разлика заправо вредност влажности земљишта.
- *pH земљишта* мери се директно pH – метром.





Слика 4.2.1.2. Прebroјавање листова који старе на стабљници мискантуса (Фото: Ивана Шеклер) периоде од јуна до новембра месеца од 2012. до 2018. године стављене су у корелацију са вредностима климатских параметара:

- средњом годишњом и месечном температуром ваздуха ( $y$  °C),
- сумом падавина на годишњем и месечном нивоу ( $y$  mm),
- влажности ваздуха на годишњем и месечном нивоу (%),
- бројем облачних дана у току године и појединачних месеци,
- бројем сати инсолације на локацији у току године и појединих месеци.

Наведене вредности климатских параметара прикупљене су из Метеоролошких годишњака Републичког хидрометеоролошког завода Србије за мерну станицу Сремска Митровица, чијој општини и припада село Ноћај у ком се налази огледно поље.

#### 4.2.2. Анализа реакције земљишта

Код мерења реакције тј. киселости земљишта, разликујемо:

- *Активну киселост*, која представља киселост земљишта раствореног у води тј. киселост земљишног раствора који проузрокују слободни јони водоника из земљишног раствора, а чија количина зависи од присуства минералних и органских киселина, воднорастворних соли и степена њихове дисоцијације.
- *Потенцијалну киселост*, коју проузрокују јони водоника и алуминијума, адсорбовани на површини колоидних честица. Одређује се из соног екстракта



земљишта. У зависности од тога са којом соли реагује адсорптивни комплекс долази до замене одређених катјона, због чега се разликују супституциона (pH у калијум хлориду) и хидролитичка киселост (pH у води).

Земљиште се на више начина може класификовати на основу своје киселости. Реакција земљишта, односно pH вредност зељишта је променљива величина која се може мењати од доба године, састава фитоценозе, матичног супстрата, надморске висине, типа земљишта, дубине земљишта.

Одређивање реакције земљишта првих година вршено је на терену уз помоћ pH-метра електрометријским одређивањем у раствору земљишта директним читавањем на скали. Прибор који је коришћен је:

- *Техничка вага,*
- *pH-метар,*
- *Стандардни пуферни раствори за калибрацију уређаја,*
- *Лабораторијске чаше,*
- *Стаклени итапићи.*

Узорци земљишта узети су са две различите дубине земљишта (10 cm и 30 cm) за насумично одабран метар квадратни огледног поља. Оглед је подразумевао да се одмери 10 g земљишта и прелије са 25 cm<sup>3</sup> дестиловане воде (без CO<sub>2</sub>) - за одређивање активне киселости земљишта или са 25 cm<sup>3</sup> 1M KCl - за одредивање супституционе киселости. Суспензија се добро измеша, а затим остави да одстоји 10-15 минута. Урањањем електроде pH - метра у суспензију врши се читавање pH вредности директно на скали апарата.

Електрометријско одређивање pH вредности земљишта pH-метром заснива се на мерењу потенцијалне разлике између две електроде урођене у суспензију земљишта. Потенцијал тзв. референтне електроде (обично засићена каломел електрода) сталан је и не зависи од pH вредности мерене суспензије, док се потенцијал мерне електроде мења у зависности од pH. Величина узорка за анализу била је 10 грама земљишта.

#### 4.2.3. Жетва, складиштење и уситњавање мискантуса

Жетва надземне биомасе мискантуса може бити обављена у касну јесен или рано пролеће, најчешће између новембра и априла, у зависности од локалитета и касније намене биомасе. Одлагање жетве за почетак пролећа наредне године смањује приносе жетве, али утиче на бољи квалитет сагоревања, смањењем садржаја влаге, пепела, хлора и азота у свим генотиповима мискантуса (Clifton-Brown, Lewandowski 2002) [91]. Са економског аспекта, препоручује се касна жетва где је садржај влаге нижи од 30% с обзиром да се са повећаним садржајем влаге повећава цена жетве, сушења и складиштења мискантуса (Husman 1998) [92].

Према резултатима Џелетовић и сар. (2009) [90], мискантус образује током септембра месеца максималну биомасу, али се за потребе сагоревања биомасе (коришћења у енергетске сврхе) значај даје крају децембра месеца када су минималне вредности азота, фосфора, калијума и влаге у укупној маси пожњевеног надземног дела. На тај начин би се, вршењем жетве крајем децембра, за потребе сагоревања биомасе, могао обезбедити задовољавајући квалитет мискантуса. Да би се жетва обавила у периоду од краја децембра до почетка априла, неопходни су одређени агроеколошки услови, који пре свега подразумевају одсуство падавина и снежног покривача неколико дана узастопно, како би механизација могла несметано да ради и креће се на парцели [90].

Жетва се врши механизацијом за кошење или специјалним комбајнима, модификованим у односу на оне који се користе за кукуруз због структуре мискантуса (висина преко 3 метра и чврстина сабљике) [93].

Прва жетва на огледном пољу вршена је кошењем где су одсецане чврсте стабљике, а биомаса везана у снопове. Сакупљена биомаса у сноповима користи се као простирка за животиње или грађевински материјал (као трска). Кошење омогућава убрзан губитак влаге и обезбеђује осветљеност, а тиме и ефикасније сушење.

Сушење биомасе након жетве, ефикасније је у балама него у прикуљеним сноповима, па је препоручљивије биомасу балирати коришћењем неке постојеће механизације за балирање. Сходно томе, након наредних жетви вршено је балирање биомасе. С обзиром да биомаса мискантуса због своје структуре у кружним балама тежи да се врати у усправан положај, препоручљивије је балирање у облику квадра или коцке.

Балирана биомаса, може се прикупити, транспортовати и складиштити користећи методологију стандардну за сено и сламу. Простор за складиштење треба да обезбеди заштиту и добру вентилацију, за шта се може користити простор који има кровну конструкцију или да се балирана биомаса прекрије пластичном или церадном прекривком (Nolan et al. 2008) [94]. Значајан фактор за складиштење биомасе јесте влага. Безбедно складиштење мискантуса показало се могућим након сушења биомасе до 15% влаге (Venturi et al. 1998) [95], које може бити у пољу или у складишту са вентилацијом [80]. При садржају влаге преко 25%, осим што може доћи до труљења, постоји ризик и од самозапаљења ускладиштеног материјала као последица самозагревања у случају одсуства вентилације посебно бала са већим густинама (Task, Kirschbaum 1995) [96].

Према томе за које потребе се касније припрема, биомаса се може млести или сецкати. Прикупљена биомаса након жетве са поља се може директно уситњавати у стандардним сецкалицама за биомасу или се може уситњавати након балирања и складиштења.

Уколико се жели извршити силажа мискантуса препоручује се збијање биомасе пре прекривања новим количинама како би се уклонио вишак ваздуха, уколико је то могуће, на пример, преласком трактора преко њега [81] или употребом пресе, чиме би се сабијањем могло остварити смањење влаге од 55 до 40% [51].

### **4.3. Припрема узорка грађевинских материјала**

Методологија испитивања могућности израде неконструкционих грађевинских материјала добијених на бази уситњеног *Miscanthus x giganteus-a* уз додатак природних везивних компонената обухвата неколико фаза.

### 4.3.1. Просејавање мискантуса

Уситњавање сладиштеног мискантуса врши се сецкалицама за биомасу (сламу и сл). Уситњена одређена количина мискантуса, природно је сушена у вентилацијски проветреној просторији, а затим просејана кроз грађевинско сито промера 300 mm (Слика 4.3.1.1). Самим просејавањем незнатан проценат иверја већих димензија је вертикално пролазио кроз сито (Слика 4.3.1.2).



Слика 4.3.1.1. Коришћено грађевинско сито (Фото: Ивана Шеклер)



Слика 4.3.1.2. Просејавање мискантуса (Фото: Ивана Шеклер)

### 4.3.2. Мерење материјала

Мерење просејаног мискантуса везива (гашени креч и зеолит) и воде, врши се на техничкој ваги која мери масу у опсегу 10 kg до  $1 \cdot 10^{-3}$  kg (Слика 4.3.2.1).



Слика 4.3.2.1. Одмеравање потребних материјала (Фото: Ивана Шеклер)

### 4.3.3. Одређивање водовезивног фактора

Одређивање водовезивног (ВВ) фактора кречне пасте подразумева одређивање количине чврстог везива у кречној пасти која је коришћена у експерименталном делу истраживања, а одређује се као количник масе воде и масе чврстог везива:

$$ВВ = m_{\text{воде}} / m_{\text{везива}}$$

### 4.3.4. Мешање и уграђивање у калупе

Одмерене количине мискантуса мешају се у већим посудама са везивом, које чини:

- 1) гашени креч и потребна количина воде (три серије различитих масених односа) и
- 2) гашени креч, зеолит и потребна количина воде (три серије различитих масених односа).

Композит се припрема мешањем дате биомасе и базног кречног везива с обзиром да су претходна истраживања показала да је *Miscanthus x giganteus* отпоран на базну средину и присуство силиката (Voix et al. 2016) [97]. Отпорност према силицијум диоксиду је битна због касније употребе панела и њиховог контакта са стандардним грађевинским материјалима као што су бетон или малтер.

Мешање композита испробано је са разним грађевинским мешалицама, међутим, због структуре мискантуса, најефикасније се показало мешање ручним грађевинским миксером (Слика 4.3.4.1). Таква хомогенизована смеша је ручно уграђивана у калупе (Слика 4.3.4.2) коцки, призми и плоча:



Слика 4.3.4.1. Мешање композита  
(Фото: Ивана Шеклер)



Слика 4.3.4.2. Уграђивање смесе у калуп  
(Фото: А.Костић)

- за испитивање *физичко-механичких особина* материјала челични калупи облика коцке димензија 10cm x 10cm x 10cm и облика призме димензија 4cm x 4cm x 16cm (Слика 4.3.4.3);
- за испитивање *топлотне проводљивости* материјала калупи димензија 50cm x 50cm x 7cm и 75cm x 75cm x 7cm;
- за испитивање *горивости материјала* калупи облика ваљка пречника 40 cm и висине 50 cm.



Слика 4.3.4.3. Коришћени калупи: лево призме, десно коцка (Фото: Ивана Шеклер)

Сви припремљени узорци раде се у дупликату за коцке и трипликату за призме (Слика 4.3.4.4).

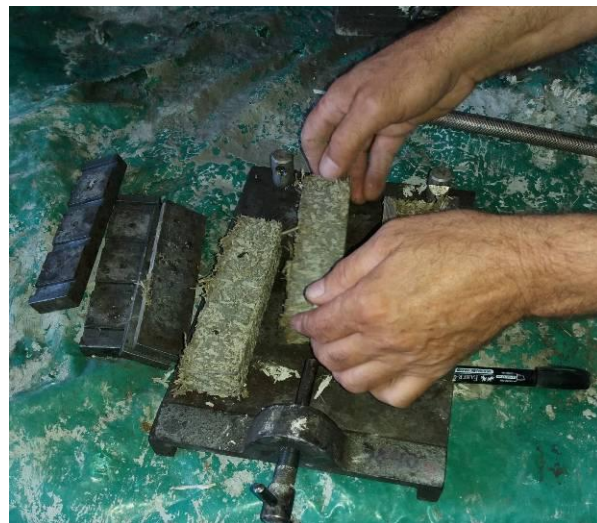


Слика 4.3.4.4. Припремљени узорци у калупима (Фото: Ивана Шеклер)



#### 4.3.5. Сушење узорака

Узорци се остављају 7 дана на природном сушењу, затим се врши раскалупљивање (Слика 4.3.5.1. а и б) и наставак природног сушења још 21 дан (Слика 4.3.5.2), након чега се стављају у сушницу на температуру од 80 степени 24 часа (Слика 4.3.5.3).



Слика 4.3.5.1. а) и б) Раскалупљивање узорака (Фото: Ивана Шеклер)



Слика 4.3.5.2. Природно сушење узорака (Фото: Ивана Шеклер)



Слика 4.3.5.3. Сушење узорака у сушници (Фото: Александар Костић)

#### 4.3.6. Мерење физичко-механичких особина узорака

Мерене физичко-механичке особине узорака су:

- *Димензије узорака* - мерењем дужине (d), ширине (b) и висине (h) након сушења узорака на ваздуху (Слика 4.3.6.1);



Слика 4.3.6.1. Мерење димензија узорка (Фото: Ивана Шеклер)

- *Запреминска маса узорака (густина)* - подразумева мерење (Мурављов 2007) [98]:
  - Укупне запреминске масе ( $\chi_u$ ) након уградње у калупе (Слика 4.3.6.2), према формули
$$\chi_u = m_u / V \text{ [kg/m}^3\text{]}, [98]$$
где је  $m_u$  укупна маса узорка након уградње у калупе изражена у килограмима
  - Почетне запреминске масе ( $\chi_0$ ) након раскалупљивања према формули
$$\chi_0 = m_0 / V \text{ [kg/m}^3\text{]}, [98]$$
где је  $m_0$  почетна маса узорка након раскалупљивања (после 7 дана изражена у килограмима;
  - Запреминске масе након сушења ван калупа (Слика 4.3.6.3), према формули
$$\chi_n = m_n / V \text{ [kg/m}^3\text{]}, [98]$$
где је  $m_n$  маса узорка након сушења после n дана (у овом случају 21 дан) изражена у килограмима.



- *Апсолутна влажност узорака* ( $H_a$ ) одређује се према формули [98]:

$$H_a = \frac{m_{ov} - m_o}{m_o} \cdot 100 [\%]$$

где  $H_a$  представља апсолутну влажност узорка,  $m_{ov}$  масу природно влажног материјала и  $m_o$  масу сувог узорка.



Слика 4.3.6.2. Мерење масе узорка након уградње у калупе (Фото: И. Шеклер)



Слика 4.3.6.3. Мерење масе узорка након сушења ван калупа (Фото: И.Шеклер)

- *Чврстоћа при притиску* – мери се до тачке лома и то за узорке облика коцке на аутоматизованој хидрауличној преси Cyber-plus Evolution, Matest, Италија (Слике 4.3.6.4. а и б).

Чврстоћа при притиску за узорке облика призми мери се до граничних вредности пуцања узорка, а затим прерачунава на основу формуле (Скендеровић и Кекановић 2011) [99]:

$$F_p = P_p \text{ gr.} / S_o \text{ [N/mm}^2, \text{MPa]},$$

где је  $F_p$  чврстоћа при притиску [MPa],  $P_p$  примењена сила до тачке лома [kN],  $S_o$  површина на коју делује сила (површина попречног пресека) [cm<sup>2</sup>].

- *Чврстоћа при затезању савијањем* – обично се израчунава над узорцима облика призми тако што се примени сила до границе пуцања на средини узорка или се примењују две концентрисане силе у трећинама распона. У оквиру овог испитивања примењена је једна сила у средини распона на мануелној хидрауличној преси

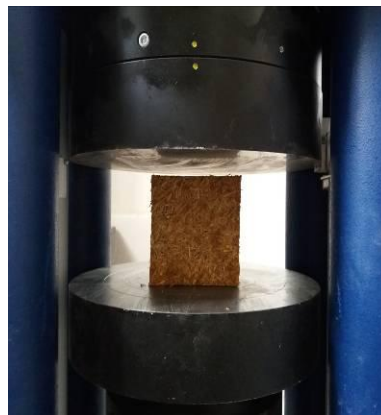
Amsler, Немачка (Слика 4.3.6.5), а затим израчуната чврстоћа при затезању савијањем на основу формуле [98]:

$$M = Pz_s * l/4, [kNcm],$$

где је  $M$  моменат савијања (гранична вредност оптерећења) [kNcm],  $Pz_s$  примењена сила до вредности лома [kN],  $l$  распон тачака између којих је примењена сила (10,67 cm се узима према стандарду) [cm].

Сређивањем једначина, добија се израз за прерачунавање чврстоће при затезању савијањем [98]:

$$\sigma_{zs} = \frac{3}{2} \cdot \frac{Pz_s g l^{-1}}{b \cdot h^2}, [kN/cm^2, MPa]$$



Слика 4.3.6.4. а) аутоматизована хидраулична преса, б) одређивање чврстоће при притиску за узорке облика коцке (Фото: И. Шеклер)

Слика 4.3.6.5. Одређивање чврстоће при затезању призми (Фото: И. Шеклер)

#### 4.3.7. Мерење горивости материјала узорка

Одређивање горивости материјала подразумева употребу узорка облика ваљка, који су формиран сечењем плоча, које су коришћене за испитивање топлотне проводљивости. За испитивање се користи стандардна испитна пећ са пратећом опремом за мерење (Слика 4.3.7.1. а, б и в) и обраду података направљена у Лабораторији за топлотну технику и заштиту од пожара при Институту за испитивање материјала а.д. Београд – ИМС, према стандарду SRPS EN ISO 1182.



Слика 4.3.7.1. Мерење горивости материјала (Фото: Милица Мирковић Марјановић)

#### 4.3.8. Мерење топлотне проводљивости

Топлотна проводљивост материјала одређује се на узорцима димензија 50cm x 50cm x 6cm уз употребу следеће опреме:

- стандардна испитна комора – топла, направљена у Лабораторији за топлотну технику и заштиту од пожара при Институту за испитивање материјала а.д. Београд – ИМС,
- термостат са водом;
- расхладна тела;
- термо-парови Cu-CuNi, пречника жице 0,3 mm;
- топлотни флуksметри TNO TH Delft, број F2g (грејна страна) и F6n (негрејана страна);
- дигитални mV-метар "KEITHLEY“.

Мерење топлотне проводљивости материјала одређује се према стандардима:

- JUS U.J5.060 (1983) – Топлотна техника у високоградњи – Лабораторијске методе испитивања пролаза топлоте у грађевинским конструкцијама зграда (Мерење методом топлотних флуksметара).
- Остали коришћени стандарди: JUS U.J5.600 (1998) – Топлотна техника у грађевинарству – Технички услови за пројектовање и грађење зграда.

Испитивање топлотне проводљивости узорка за ову докторску дисертацију рађено је HOT BOX методом, која захтева један узорак димензија 50cm x 50cm x 6cm. Дебљина самог узорка може варирати у зависности од потреба даљег коришћења, али је у циљу истраживања одабрано 6 cm као оптимална дебљина како би испитивани материјал био компактнији. Према захтевима поменутих стандарда, испитивање узорка се обавља након сушења до константне масе, након чега се узорак уграђује између две коморе различитих температура (слика 4.3.8.1. а и б). Даље мерење густине топлотног протока обавља се помоћу топлотних флуксметара, постављених са грејане и негрејане стране у квазистационарном стању. Унутар мерног поља топлотних флуксметара постављају се сензори за мерење температуре. Како би могао да се примени Фуријев закон, са обе стране испитиваног узорка мора се обезбедити стабилна конвекција, која подразумева стационарни топлотни ток кроз посматрани слој чврстог материјала, са сталним температурама на његовим граничним површинама. Отпор топлотном протоку ( $R$ ) одређује се као количник средње температуре разлике између граничних површина узорка и одговарајуће вредности густине топлотног протока кроз узорак у стационарном стању.



Слика 4.3.8.1. а) и б) Одређивање топлотне проводљивости материјала (Фото: Милица Мирковић Марјановић)

## 5. ТЕРМОИЗОЛАЦИОНИ МАТЕРИЈАЛИ

Према подацима Програма заштите животне средине Уједињених Нација, процењено је да зграде троше око 40% укупне светске енергије, 25% глобално доступне воде, 40% глобалних ресурса, као и да су одговорне за око трећину емисија гасова са ефектом стаклене баште на целој планети (UNEP [100], Asdrubali и сар. 2015 [101]).

Дугорочни циљеви ЕУ предвиђени до 2050. године јесу смањење емисија гасова, нарочито оних који утичу на ефекат стаклене баште, и то за 80-95% испод нивоа који је био 1990. године, што према истраживачима из ове области захтева пре свега декарбонизацију енергетског система, али и смањење домаћих емисија за 55% до 2030. године како би ЕУ била на путу да достигне предвиђени циљ (Ecofys 2013) [102].

Смањење потрошње енергије у објектима постигло би се унапређењем енергетске ефикасности, која између осталог подразумева и термоизолацију објеката. Термоизолациони материјали представљају материјале чији је главни циљ да смање провођење топлоте, чиме се смањују губици енергије али и трошкови намењени за грејање или хлађење објекта. Главне карактеристике ових материјала огледају се у:

- Контроли температуре површина,
- Способности очувања енергије смањењем топлотних губитака,
- Спречавању протока водене паре и кондензације воде на хладним површинама,
- Позитиваном утицају на рад система за грејање, вентилацију и хлађење (тзв. систем HVAC - Heating, Ventilation & Air Conditioning) [98].

### 5.1. Основни типови изолације

Термоизолациони материјали, осим претходно наведених функција, треба да штите конструкцију објекта и од штетних атмосферских утицаја као што су влага, падавине и слично, али и да повећају трајност целокупног објекта [98]. Према Мурављов (2007) [98], термоизолациони материјали деле се према:

А. Пореклу сировина од којих се производе, а које могу бити:

- 1) Минералне (неорганске): камена и стаклена минерална вуна.



- *Камена вуна* (Слика 5.1.1) добија се топљењем мешавине природних минералних стена, а у њен састав улазе стакласта влакана и стврднуте капи силикатног растопа (Скендеровић и Кекановић, 2011) [99]. Представља хемијски инертан материјал, отпоран на многе атмосферске утицаје (водену пару и падавине), али са важним недостацима у које се убрајају: изражено упијање воде, мобилност водене паре, склоност ка стварању буђи, мала отпорност на мраз и смањење ефекта термоизолације (Скендеровић и Кекановић, 2011) [99]. У циљу мање склоности ка упијању воде, термоизолациони материјали од камене вуне могу се додатно обогатити силиконским уљем (најчешће органским смолама и уљима у количини од 6%) што представља хидрофобизацију (Мурављов, 2007) [98]. Тако унапређена вуна позната је под комерцијалним називом „импрегнирана вуна“, чији производи предстаљају плоче дебљине од 2 до 10 cm, а које могу бити тврде, полутврде и меке (Мурављов, 2007) [98]. Примена материјала од камене вуне најчешће је заступљена у склопу решења фасадних зидова, преградних зидова, подних и међуспратних конструкција, равних и косих кровова и неветилисаних или контактних система (Мурављов, 2007) [98].



Слика 5.1.1. Камена вуна (Фото: <http://energetska-efikasnost.rs/kamena-vuna-naturboard-fit>, 28.11.2018.)



Слика 5.1.2. Стаклена вуна (Фото: <https://www.tehnohemija.com/sr/proizvodi/izolacije-i-aditivi/staklena-mineralna-vuna>, 28.11.2018.)

- *Стаклена вуна* (Слика 5.1.2.) представља хемијски инертан материјал, који се састоји од танких и еластичних стаклених нити, за чију се производњу користе сировине из производње стакла, али и отпадно стакло (стаклени крш) (Мурављов, 2007) [98].

Импрегнирана камена и стаклена вуна по својим карактеристикама не представљају материјале који су опасни по људско здравље, док тзв. „сирова“ растресита стаклена вуна може представљати потенцијалну опасност (Мурављов, 2007) [98].

Стаклена и камена вуна, представљају највише коришћене термоизолационе материјале са учешћем од 58% на тржишту Европе [103]. Многи произвођачи термоизолационих материјала истичу баш ове материјале и лобирају против употребе експандираних и екструдираних полистирена због њиховог понашања у случају пожара.

2) Органске, који се према пореклу деле на:

- *Вештачке материјале (полимере)*: експандирани полистирен (стиропор), екструдирани полистирен (стиродур) (Слика 5.1.3. а,б) и полиуретан (пено-пластична маса). Сви они се добијају прерадом нафтних деривата, при чему се добијају различити производи у зависности од технолошког поступка који се примењује. Полиуретани се добијају као резултат сложених реакција у мешавини полиестара, диизоцијанида, воде, катализатора и емулгатора, а производе се као распрскавајуће пене тј. пуниоци, који се директно наносе на површине елемената констукције (Слика 5.1.4) или шупљине које је потребно топлотно изоловати, а ретко као круте плоче обложене лимовима (тзв. „сендвич“ систем) (Мурављов, 2007) [98]. И ако су лако запаљиви, ови типови термоизолационих материјала су и даље међу најзаступљенијим термоизолациони материјали у Источној Европи.



Слика 5.1.3. а) експандирани полистирен; б) екструдирани полистирен  
(Фото: [http://www.arhiteko.hr/menu.html?http://www.arhiteko.hr/\\_polistiren.html](http://www.arhiteko.hr/menu.html?http://www.arhiteko.hr/_polistiren.html), 28.11.2018.)



Слика 5.1.4. Наношење полиуретанске пене

(Фото: <http://www.gradjevinarstvo.rs/tekstovi/1152/820/poliuretanska-pu-pena-u-spreju-%E2%80%93-kompletna-termoizolacija-objekta-i-mnogo-vise>, 28.11.2018.)

- *Природне материјале:* најчешће трска, слама, дрвена влакна и рециклирана целулоза, који могу бити у облику панела, плоча од трске, плуте, комбинације струготина дрвета и минералних везива и др.

Добијање *плоча од трске* врши се пресовањем нељуштених тршчаних стабљика дуж правца стабљика (Слика 5.1.5). Такве плоче, најчешће се примењују у циљу термоизолације зидова и кровова, међуспратних конструкција и подова, а некада су се примењивале и као покривке на кућама и другим помоћним објектима. Као и сви термоизолациони материјали, тако и ове тршчане плоче имају мане које представљају: висока горивост материјала, могућност оштећења од стране глодара, труљење и тешко причвршћивање ексерима или шрафовима (Мурављов, 2007) [98].

*Плоче од дрвене вуне* користе се у циљу топлотне изолације зидова, кровова и подова, а производе се очвршћавањем мешавине дрвене струготине или дрвене вуне и неког минералног везива у дебљини од 2,5 до 10 cm (Мурављов, 2007) [98].

Термоизолациони материјали на бази *целулозе* су примену нашли у унутрашњој толојној изолацији зидова, кровова и међуспратних конструкција, али у комбинацији са неким водонепропусним и парaproпусним фолијама (Мурављов, 2007) [98].

Према Coutts (1992), влакна пореклом из пољопривредне биомасе садрже целулозу, природни полимер, који представља главни материјал за ојачавање грађевинских материјала [104], па је са тим у вези и примена ових влакана оправдана.





Слика 5.1.5. Плоче од трске (Фото:  
<http://www.ekokuce.com/materijali/trska>, 28.11.2018.)

Б. Вредности коефицијента топлотне проводљивости ( $\lambda$  [W/(mK)], који показују да што је вредност  $\lambda$  мања, то је у питању бољи термоизолациони материјал), деле се на:

- *Праве термозолационе материјале* чија је вредност коефицијента топлотне проводљивости мања од 0,06 W/(mK) (ASHRAE 2017) [105];
- *Материјале са добрим термоизолационим особинама* чија је вредност коефицијента топлотне проводљивости виша од граничних вредности правих термоизолационих материјала, на пример: плоче од пресоване сламе чија је вредност топлотне проводљивости 0,098 W/(mK) или синтетичке плоче од вишеслојног полиестера чија је топлотна проводљивост у опсегу од 0,19 до 0,23 W/(mK) (Правилник о енергетској ефикасности зграда) [106]. Термоизолациони материјали овог типа обично представљају економски повољнију алтернативу која се може користити самостално у дебљем слоју или у комбинацији са правим термоизолационим материјалима или премазима који би продужили век трајања изолације и унапредили топлотну проводљивост.

Осим термоизолационих карактеристика, према Мурављов (2007), материјали који се користе за термичку изолацију објеката неопходно је да задовоље и низ других карактеристика [98]:

- да имају задовољавајућу чврстоћу материјала,
- да имају високу порозност,
- да их одликује низак степен упијања воде,
- да имају задовољавајућу способност провођења гасова и водене паре,

- да буду отпорни на мраз,
- да буду хемијски и биолошки постојани,
- да буду нетоксични,
- да имају задовољавајућу отпорност на дејство пожара,
- да имају прихватљиву цену и
- да их одликује могућност рециклаже материјала.

Све те карактеристике значајне су због касније конкурентности на тржишту.

В. Вредности запреминске масе,

Г. Месту и начину примене:

- материјали који се користе као спољашња термоизолација,
- материјали који се користе као унутрашња термоизолација и
- материјали за попуњавање шупљина (тзв. „филери“) између различитих грађевинских елемената.

Приликом одабира адекватног термоизолационог материјала, осим горе поменутих карактеристика, посебна пажња се усмерава на понашање термоизолационог материјала у одређеним условима: приликом транспорта и уградње, приликом промене особина материјала услед дејства неких спољашњих утицаја или дејства атмосферских промена, што утиче на бржу биолошку разградњу таквих материјала (Bouasker и сар. 2014) [107]. Стварање буђи је још једна од кључних мана материјала са влакнима пореклом од биљне биомасе због високог садржаја влаге. Према Collins M. et al. присуство влаге изнад 20% у материјалима ствара буђ (Collins и сар. 1987) [108]. Осим тога, још једна од мана природних влакана је да се у неким композитима може показати лоша компатибилност између биљних влакана и везива што касније проузрокује и апсорпцију влаге у материјалима (Bouasker и сар. 2014) [107]. Биљно влакно код кога је садржај влаге мањи од 15% сматра се релативно стабилним за употребу у материјалима, где је и врло мало доказа о присуству микроба у таквим материјалима (Rotz и Muck, 1994) [109].

Према Pfundstein и сар. (2008), топлотне проводљивости чистих целулозних влакана имају вредности у распону од 0,033 до 0,040 W/(mK) [110]. Овакав распон вредности

указује на потенцијално добре карактеристике термоизолационих материјала на бази целулозних сировина. Према Мурављов (2007), уз додавање адитива (борне соли, амонијум сулфата или амонијум фосфата) који се примењују за заштиту материјала од паљења и горења (антипирата), класе запаљивости оваквих материјала су најчешће класе В2, што припада класи нормално запаљивих материјала [98]. Без тих модификација, материјали на бази природних влакана најчешће показују класу горивости F (Škrnlantová, 2012) [111].

Asdrubali и сар. (2015) [112] спровели су поделу неконвенционалних изолациони материјала на:

- природне: трска, отпаци у преради шећерне трске, рогоз, балирана слама, кукурузни клип, памука, урма, листова ананаса, пиринча, сунцокрета и слично;

- рециклиране: стаклена вуна (добијена рециклажом отпадног стакла), пластична влакна (добијена рециклажом пластике), текстилна влакна (добијена рециклажом текстила) и други.

На основу поменуте поделе, у Табели 5.1.1. дат је преглед природних изолационих материјала према коефицијенту топлотне проводљивости (као једном од кључних параметара термоизолационих материјала) при датим густинама материјала.

Табела 5.1.1. Природни неконвенционални изолациони материјали [112]

Назив природног материјала	Коефицијент топлотне проводљивости W/(mK)	Густина материјала kg/m <sup>3</sup>	Референце
Трска	0,045-0,056	130-190	[210], [211]
Отпаци у преради шећерне трске	0,046	70-120	[212] [213]
Рогоз	0,0438-0,0606	200-400	[214]
Клипови кукуруза	0,101		[215] [216]
Стабљике памука	0,0585-0,0815		[217]
Петелјке и сновпови урме (у комбинацији са гипсом)	0,15-0,17	753	[218]
Палмина влакна	Најмања вредност 0,055 Вредност узорака 0,293	100	[219]
Пиринчане љуске	0,0464-0,0566	154	[220]
Балирана слама	0,067	60	[221]

Поједине вредности коефицијента топлотне проводљивости неконвенционалних природних материјала су нешто више од вредности које имају конвенционални материјали. Према Правилнику о енергетској ефикасности Републике Србије [106], вредности коефицијента топлотне проводљивости термоизолационих материјала крећу се у распону од 0,025 W/(mK) (за полиуретанску пену при густини од 15 kg/m<sup>3</sup>) до 0,25 W/(mK) (за топлотноизолациони малтер), при чему су вредности најчешће коришћених конвенционалних материјала (камене и стаклене вуне, стиропора и стиродура) у распону од 0,032 до 0,039 W/(mK).

Поредећи вредности класа запаљивости, већина природних неконвенционалних изолационих материјала показује већи степен запаљивости од материјала добијених рециклажом материјала или конвенционалних вештачких материјала. Према Asdrubali и сар. (2015), изолациони материјали направљени од рециклираног стакла, показују А1 класу запаљивости материјала, што представља готово незапаљив материјал [112]. Сличне резултате има и камена вуна, док изолациони материјали на бази рециклираног памука и конопље представљају материјале са високим капацитетом пропуштања влаге, слично минералној и природној вуни. Поредећи резултате LCA (Life Cycle Analysis) изолационих материјала, количина енергије потребна за израду поменутих конвенционалних изолационих материја и материјала пореклом из рециклаже, значајно је већа у односу на енергију природних, неконвенционалних материјала. Ricciardi и сар. (2014) евидентирали су да 267,7 MJ<sub>eq</sub> по функционалној јединици енергија потребна за производњу изолационог материјала на бази рециклираног текстила и папира, док је прорачунати утицај истог материјала на глобално загревање 14,38 kgCO<sub>2eq</sub> по функционалној јединици [113]. Поредећи са знатно нижим вредностима за производњу материјала на бази конопље које су добили Manohar и сар. (2005), где потребна енергија износи 59,37 MJ<sub>eq</sub> по функционалној јединици са утицајем на глобално загревање у вредности 3,17 kgCO<sub>2eq</sub> по функционалној јединици [114], доказује се да је еколошки прихватљивија производња термоизолационих материјала на бази природних влакана. Према искуствима која су до сада поменута у доступној стручној литератури, термоизолациони материјали на бази биљних влакана су се традиционално користили широм света. Нарочито се помињу трска, конопља, јута, кукуруз, сунцокрет, слама и

други, а на основу сличних карактеристика и лигноцелулозног састава, *Miscanthus x giganteus* сматра се биљном врстом са још једним потенцијалом који се огледа у изради термоизолационих материјала.

## 5.2. Историјска употреба природних грађевинских материјала

Током историје, материјали који су коришћени за изградњу обејаката били су од материјала лако доступних и применљивих за дату локацију. Неки од примера коришћених материјала и конструкција су:

- 1) Ћерпич (тугла) – Прављен од блата, мешан са песком и сламом, а у неким деловима света и са балегом. Таква смеса је стављана у дрвене калупе, а затим сушена на сунцу [115]. Овакве грађевине су доста издржљиве па су често и неки од најстаријих објекти на свету управо изграђени од овог материјала (Marchand, 2009) [116]. У корист им иде и способност добре изолације простора, као и еластичност материјала (Collyns, 2009) [117].
- 2) Коб – материјал сличан ћепићу који се прави од глине, песка, сламе, воде и земље (Wright) [118]. Облик материјала се формира док је још материјал мокар, па се на тај начин могу правити уметничке форме [119]. Сматра се да су објекти од овог материјала отпорни на ватру (слабо запаљиви) и сеизмички стабилни. Најстарије куће од овог материјала налазе се у Авганистану, а могу се наћи и у Африци, Великој Британији, Новом Зеланду и источним деловима САД-а (Goodnow, 2007) [120].
- 3) Бондрук – материјал који се прави од сламе помешане са блатом или преплетом од прућа који испуњавају дрвену конструкцију направљену од низа усправних дрвених стубова и хоризонталних греда, где се често преко премазује и слој иловаче [121].
- 4) Куће од сламе подразумевају куће чији су зидови изграђени од балиране сламе која је представљала носиви елемент или испуну конструктивних елементата састављених од дрвета или камена, уз ојачање зидова хоризонталним дрвеним гредама. Салама има добра својства апсорпције воде, виша у односу на друге биљне врсте (Bouasker и сар. 2014) [122].

- 5) Брвнаре – куће прављене у потпуности од дрвета, најчешће од дрвета бора, смреке или јеле. Овакве куће се и данас праве уз додатак нових и/или вештачких материјала.
- 6) Шиндра – кровни материјал од цепаних дасака најчешће храстових или јелових којима се покривају куће. Постављају се попут црепа, једна преко друге, са преклопом. Најчешћи је тип кровне прекривке у срединама где има доста четинара и спада у скупље кровне покриваче с обзиром да се најчешће прави од храстовог дрвета, због чега данас није у честој употреби.
- 7) Трска – лако доступна и јефтина, представљала је један од најчешће коришћених материјала за покривање стамбених кућа и помоћних објеката у Србији али другим земљама. Показуј добре термоизолационе особине, а може бити постојана на објетима и више десетина година (Ловец, 2018) [123]. Повезивањем трске са блатом и ојачавањем таквих конструкција дрвеним гредама, израђивани су плафони (тзв. Каратаван).

Свеprisутнији термин „Green building“ („зелена градња“, „еко градња“) представља концепт који подржава еколошки одговорне и енергетски ефикасне процесе почевши од производње материјала, пројектовања, употребе материјала за изградњу, изградње и одржавања објеката, а на крају и рушења и рециклирања материјала. На тај начин овај концепт подржава поновно коришћење традиционалних грађевинских материјала уз унапређење система градње и израде материјала.

Савремени грађевински изолациони материјали на бази природних органских материјала настали су захваљујући новим технологијама производње и примене, а по угледу на традиционалне материјале. Према типу уградње материјала могу бити панели, плоче и растресито пуњење. Предност представља висока порозност, где се у међупростору целулозних влакана задржавају веће количине ваздуха. Те поре не дозвољавају даље струјање ваздуха и продор ветра (за разлику од материјала са већом густином као што су земља, блатом, глина, камен и сл.), па се зато сматрају добрим изолаторима. Најбољи резултати се према досадашњем искуству добијају комбинацијом материјала.

Материјали од целулозе производе се од: дрвећа (смрека, јела, топола, буква, бреза и др.), влакнастих сировина (лан, конопља, слама и др.) и целулозних прерађевина (рециклираног папира, картона, пиљевине). Предности материјала добијених од целулозе јесу што је производни поступак кратак, мања потрошња енергије него код конвенционалних материјала (на пр. минералне вуне), добре изолационе карактеристике, могућност производње и од рециклираног природног материјала. Као и сви материјали, тако и они имају недостатке који се огледају у: могућем настанку прашине приликом постављања изолације, потребном времену сушења након израде, често већим потребама за складиштење, транспорт и постављање у односу на конвенционалне материјале.

### **5.3. Природна везива у грађевинским материјалима**

Значај коришћења везива пореклом из природе („природних везива“) у грађевинским материјалима, потребно је додатно истражити, унапредити и увести у употребу, како би животна средина услед негативног деловања употребе конвенционалних грађевинских материјала (на пример цемента) у чијој се производњи троше значајне количине фосилних горива и емитују високе концентрације угљен диоксида (једног од најзначајнијих гасова са ефектом стаклене баште) била што мање оптерећена.

Да би имао особину везивног средства, према Скендеровић Б. и Кекановић М. (2011), материјал мора бити лак за обраду уз додатак воде или загревањем, а мешањем са другим материјалима могу да очврсну у неком временском интервалу, као и да повежу више компоненти од којих се материјал састоји [99].

Хемијски састав везивних материјала сврстава их у:

- Органска: природна (битумен и катран) и вештачка (органски полимери (полиуретани, епоксиди)) и

- Неорганска: цемент, креч и гипс. Креч и гипс се у данашње време користе мање, док је највише заступљена примена цемента [99].

Очвршћавање везивних маса може бити на ваздуху (хидраулична) или под водом (нехидраулична). С обзиром на очвршћавање под водом, нехидраулична везива се не

користе за израду конструкционих материјала, али се могу користити за израду грађевинских елемената, малтера и везива за посебне сврхе [98].

### **5.3.1. Хидраулични креч као природна врста везива у грађевинским материјалима**

Један од најстаријих и најпознатијих материјала коришћених у грађевинарству, пореклом из природе, са уделом од преко 90% калцијум оксида ( $\text{CaO}$ ) и оксидима силицијума, гвожђа, алуминијума и магнезијума, представља креч.

Током реакције са водом, нестабилно једињење калцијум оксид ( $\text{CaO}$ ) прелази у калцијум хидроксид  $\text{Ca(OH)}_2$ , познатије под називом „гашени креч“ („хидратисани креч“) који представља стабилније једињење од калцијум оксида. Реакција је егзотермна, па долази до ослобађања велике количине топлоте од 65,3 kJ (Скендеровић и Кекановић, 2011) [99].

Овакав калцијум хидроксид ( $\text{Ca(OH)}_2$ ) у контакту са ваздухом (у ком се налази у природном стању угљен диоксид ( $\text{CO}_2$ )) може да пређе у још стабилније једињење калцијум карбонат ( $\text{CaCO}_3$ ), познатије као кречњак. С обзиром да природни кречњак садржи примесе глине или магнезијум карбоната ( $\text{MgCO}_3$ ), даљим загревањем (печењем) ове примесе прелазе у претходно наведене оксиде. Уколико је присуство горе наведених оксида заступљено у већој концентрацији, може се смањити количина главног састојка креча (калцијум оксида) и тиме нарушити везивна способност креча (Скендеровић и Кекановић, 2011) [99].

Квалитет добијеног креча зависи између осталог и од услова печења. Температура на којој се печење одвија је најчешће од 1000 до 1200°C што је условљено хемијским саставом полазног калцијум оксида, а што је температура печења већа то се и брзина реакције повећава [99].

### **5.3.2. Зеолит**

Природни зеолити представљају хидратизоване алуминосиликатне минерале алкалних и земноалкалних метала, који показују добра адсорбентска својства (Kalló и сар. 2001) [124] и пуцоланска својства у базној средини (Najimi и сар. 2012) [125].



Састоје се од већег броја пора и ситнијих канала који граде отворене тродимензионалне мреже силицијум диоксида и тетраедра алуминијум оксида, стварајући тако велику специфичну површину [124], захваљујући којој лако апсорбују воду и гасове (Sircar и Myers, 2003) [126]. Велика специфична површина и могућност лаке апсорбције воде омогућавају брже сушење смесе, што смањује и настанак буђи.

Према Song и сар. (2014) зеолит показује особине материјала који се може користити у термоизолацији као премаз [127], а у комбинацији са перлитом и везаним кречним малтером патентиран је као изолациони материјал (Riegler, 1996) [128]. Захваљујући његовој лакој доступности у нашој земљи, као и наведеним особинама, оправдно је и потенцијално даље коришћење зеолита у узорцима испитиваних термоизолационих материјала.

## 6. РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА

### 6.1. Еколошки потенцијал *Miscanthus x giganteus-a*

Применом Кјото протокола из 1997. и Париског споразума из 2015. године, у циљу смањења утицаја на климатске промене, између осталог подстиче се употреба обновљивих извора енергије. У Европској унији, обновљиви извори енергије (ОИЕ) играју значајну улогу у текућим стратегијама митигације глобалног загревања (Матука и Куќ, 2016) [129]. Сходно томе, повећава се употреба биомасе, као и подстицаји за гајење брзорастућих енергетских усева. Експлоатација оваквих плантажа даље доприноси остварењу различитих циљева поменутих стратегија, који доприносе редукацији гасова са ефектом стаклене баште [129].

Међународне организације и Владе држава разумеју да енергија, добијена из енергетских усева као што је *Miscanthus x giganteus* има важну улогу у митигацији гасова са ефектом стаклене баште и борби против климатских промена (Robertson и сар. 2017) [130]. Према резултатима неколико објављених радова, сагоревањем брикета мискантуса емитује се количина CO<sub>2</sub> скоро једнака количини асимилираног CO<sub>2</sub> током раста биљке, што се тумачи као тзв. CO<sub>2</sub> неутрална употреба мискантуса у енергетским

сврхама (Lewandowski и сар. 1995 [131]; Felten и сар. 2013 [132]; Schweinle и сар. [133]).

С обзиром на способност очувања плодности тла, заштите вода од загађења, рециклажу азота, ремедијацију тла, ефикасне приносе једне плантаже мискантуса могуће је постићи уз минималну потрошњу воде, минералних ђубрива, пестицида и хербицида (Marišová и сар. 2016) [134].

Током четири године, на три локације у Србији (Засавица (мочварно земљиште, тзв. „Gleysol“), Колубара (техногено земљиште, тзв. „Technosol“) и Козјак (земљиште са исцрпљеним горњим слојем, тзв. „Planosol“) у односу на количину фертилизације посматран је принос биомасе (Дражић и сар. 2017) [135]. На свим локацијама принос је био значајно виши након друге и треће године. На локалитету у Засавици, максималан принос забележен је у вегетационим сезонама 2014. и 2015. године (17 t/ha суве масе), а додатним ђубрењем принос 23,12 t/ha суве масе. У 2012. и 2013. години, које су представљене као прва и друга вегетативна година, приноси су били нижи и нису се значајно разликовали на парцели без и парцели са додатним ђубрењем. Локалитет у Колубари са карактеристичним техногеним земљиштем, дао је мање од 1 t/ha на почетку развоја плантаже, док су 2014. и 2015. године приноси били: 4,7 t/ha суве масе на локацији са додатним мерама (наводњавање три пута у току прве вегетационе сезоне, ђубрење средином јуна месеца током прве вегетационе сезоне, ручно уклањање корова два пута у току прве и друге вегетативне сезоне) и 3,74 – 3,86 t/ha суве масе на локалитету који је имао исти третман усева као претходно наведени само без додатног ђубрења земљишта [135]. На трећем локалитету у Козјаку, принос се повећавао током раста, осим у 2012. години, без значајног утицаја додатног ђубрења на укупни принос биомасе. У 2014. и 2015. години, приноси су били већи од 10 t/ha суве масе, без значајне разлике у приносима у току година и са додатним ђубрењем. Сходно томе, може се закључити да додатно ђубрење не утиче у значајној мери на већи принос биомасе мискантуса.

Мискантус се ефикасно може користити у процесима екоремедијације обрадивих и маргиналних земљишта, а затим као енергетски усев друге генерације (Дражић и сар.

2015) [136], али и у грађевинском сектору као конструкциони и изолациони материјал (Јелић и сар. 2016) [137]. Плантаже мискантуса могу представљати и станишта за неке од дивљих животињских врста (Бабовић и сар. 2012) [138], што доприноси очувању биодиверзитета. Још један значај мискантуса у току опсервираног периода раста мискантуса на огледном пољу Факултета показао је да стабљике мискантуса могу послужити и као храна за крупније животиње: коње, краве и козе, које су јеле стабљике мискантуса међу којима су се нашле, и то од врха стабљике па све до висине од 1 метар.

У производњи биогорива, показале су се као најинтересантније биљне врсте вишегодишње лигноцелулозне траве као што су посебне врсте проса (*Panicum virgatum*, енгл. switchgrass) и кинеска шаш (*Miscanthus × giganteus*, мискантус) [138]. Чист лигноцелулозни материјал може се путем биорафинерија даље конвертовати у друге производе (Lynd и сар. 1999) [139]. Анализа састава суве масе *Miscanthus × giganteus*-а, коју су објавили Т. de Vrije и сарадници 2002. показује да је укупно присуство лигнина у сувој маси 23%, хемицелулозе 22% и целулозе 37% [140], док према неким другим литературним подацима, тај однос незнатно варира (за око 1%).

Због свог састава и структуре, мискантус представља све већи предмет интересовања и у производњи грађевинских материјала, а у Јапану, са чијег поднебља и потиче, користи се за изградњу кровова традиционалних кућа и објеката (Stewart и сар. 2009) [141]. У Данској се користи као допуна или потпуна замена традиционалној употреби трске у грађевинским објектима (Fowler и сар. 2003) [142]. Поменута претходна истраживања, показују да се мискантус може користити и у производњи плоча средње густине (тзв. медијапана) које би се могле поредити са оним од комадића дрвета (Harvey, Hutchens 1995) [143]. Поред тога, мискантус може наћи примену и у производњи целулозне пулпе, биоразградивих производа у индустрији али и као термоизолациони материјал (Acaroglu, Aksoy 2005) [144].

Примена влакнасте структуре мискантуса може се наћи и у компостирању. Компостирање је процес микробиолошке аеробне деградације и стабилизације органских материја (у овом случају биомасе мискантуса) који се одвија у контролисаним условима и може се даље користити у заштити биља (Alvarez и сар. 2006 [145]; Coosemans 1999 [146]) или као супстрат за развој неких врста биљака, на

пример бршљена (*Hedera helix*) [147]. Представља врло економичну, одрживу и еколошки прихватљиву могућност за управљање органским отпадом која се тренутно са различитим модификацијама технологије и примењује широм света (Nagarajan и сар. 2014) [148].

Због ефиканости фиторемедијације, мискантус има примену у ремедијацији отпадних вода, смањењу дисперзије загађења у ваздух и дубље слојеве земљишта, чиме додатно обезбеђује станишта за дивље животиње [138].

### **6.1.1. Екоремедијација деградираних простора**

Екоремедијација (ЕРМ) као појам, представља коришћење природних процеса у заштити и унапређењу екосистема, којим се могу умањити или потпуно уклонити утицаји деструктивних антропогених дејстава који потичу из разних привредних грана (пољопривреда, саобраћај, индустрија, туризам и др.) на све сегменте животне средине (Дражић Г. 2011) [149]. Овај појам често се употребљава за „оздрављење“, унапређење и очување животне средине, а незаобилазно представља и појам значајан у циљевима одрживог развоја и одрживе економије. Физичко-хемијски процеси ремедијације контаминираних вода или земљишта често су врло скупи и еколошки неприхватљиви, што предност даје екоремедијацији.

Деградацији локалитета у Србији уз загађење воде, ваздуха и земљишта доприносе: годишњи пораст укупне количине комуналног отпада који се одлаже на територији Србије (велики број дивљих депонија и низак степен рециклаже), експлоатација минералних сировина (необновљивих природних ресурса), конвенционална пољопривреда, историјска загађења (пореклом из затворених фабрика и других индустријских постројења), али и локалитети бомбардовани НАТО агресијом 1999. године.

Европска агенција за заштиту животне средине (ЕЕА) својим подацима покрива територију већине европских земаља, где се процењује да се загађене и потенцијално загађене локације налазе на око 3 милиона локалитета [149]. У земљама ЕЕА, трошкови за деконтаминацију загађених места на годишњем нивоу крећу се око 12 евра по становнику, где највиши део трошкова одлази управо на ремедијацију (60%), а затим на

испитивање земљишта (40%), а као највећи загађивачи издвајају се тешки метали и минерална уља [149].

Према подацима из Извештаја о стању животне средине у Србији за 2017. годину [150], на подручју Републике Србије идентификовано је 709 потенцијално контаминираних и контаминираних локација (такозваних *brownfield* локација), док су на 32 локације вршена прелиминарна истраживања у оквиру или у непосредној околини индустријских комплекса, на којима су утврђене прекорачене екоремедијационе вредности због присуства тешких метала. Од поменутих 709 регистрованих локација, на свега 52 локације извршена је санација и ремедијација [150].

Министарство енергетике и рударства РС извештава о процесима које врши Нафтна индустрија Србије а представљају континуирано санирање историјског загађења како би се те локације вратиле првобитној намени, па је тако у току 2017. године:

- у Јерменовцима санирано укупно 10640 m<sup>2</sup>,
- 5,4 ha рекултивисане површине копа лапорца „Трешња”,
- 1,25 ha делимично рекултивисане површине копа кречњака „Чокоће” [150].

Према истом извештају, Јавно предузеће „Електропривреда Србије” извршило је рекултивацију:

- 1,6 ha под ораницама у оквиру рударског басена „Колубара” Тамнава,
- 274,40 ha земљишта под ораницама и 74,63 ha земљишта под шумом у оквиру ТЕ-КО Костолац „Површински Копови” [150].

Екоремедијација се често у литературним наводима поистовећује са биоремедијацијом јер користи биолошке методе трансформације, разградње и елиминације полутаната у контролисаним условима, најчешће органског порекла (нафта и њени деривати, детерџенти, феноли, вештачка ђубрива, тешки метали и сл.) [149]. У биоремедијацији се најчешће користе микроорганизми (бактерије и гљиве) који су иначе прилагођени контаминираним животним условима, па својим метаболичким активностима разграђују полутанте до мање токсичних облика [149].

Овој групи микроорганизама припадају [149]:

- *Аеробни микроорганизми* (из родова: *Alcaligenes*, *Mycobacterium*, *Agrobacterium radiobacter*, *Pseudomonas* и др.) - показују способност разградње појединих пестицида, алкана и полиароматичних једињења.
- *Анаеробни микроорганизми* - највише за разградњу полихлорованих бифенила (РСВ), триохлоретилена (ТСЕ) и хлороформа.
- *Гљиве* - у деградацији многих тешко разградљивих једињења због способности коришћења пестицида и органских једињења пореклом из нафтне индустрије као извор угљеника у сопственом развоју, а који се на тај начин касније може елиминисати уклањањем гљива са дате локације.
- *Метилотрофне бактерије* - као извор енергије за раст користе метан.

Неке врсте тешких метала, као што је кадмијум, не могу се ефикасно адсорбовати од стране микроорганизма, па се у тим случајевима бољи резултати постижу фиторемедијацијом јер поједине природне или генетских модификоване биљке имају способност да акумулирају ове токсине (Аmin и сар. 2013) [151]. Фиторемедијација је означена као посебан облик екоремедијације у оквиру које се користе биљне врсте у циљу „оздрављења“ животне средине. Овакве биљке имају изражену могућност усвајања већих количина полутаната (најчешће тешких метала) у току свог вегетационог периода. На основу анализе контаминираног подручја, одређује се по могућности аутохтона биљна врста чија ће се садња извршити, а која ће након једног или више вегетационих периода бити уклоњена заједно са полутантима које је апсорбовала у своју биомасу. У неким случајевима, геолозима су самоникле биљке на одређеним локалитетима служиле као биоиндикатори присуства одређених метала у земљишту [149]. Способност тих биљака (означених као „суперакумулатори“ и „хиперакумулатори“ метала) да се развијају на земљиштима оптерећеним присуством тешких метала, као и њихова способност да их усвајају, подстакла је стручњаке из те области за њихову употребу у циљу „чишћења“ загађених локалитета. Предности овог начина „оздрављења“ животне средине, огледају се пре свега у томе што је то потпуно природан, јефтин, еколошки прихватљив а у последњим годинама и све модернији начин „чишћења“ окружења (Ziarati и Alaedini, 2014) [152].

Поступак фиторемедијације може се спровести у неколико фаза [149]:

- 1) Припрема земљишта (или супстрата у акватичним екосистемима) за сетву (као и код уобичајених гајених биљака) и сетва;
- 2) Фаза детоксикације (усвајања загађења у фази вегетације биљке);
- 3) Одстрањивање биомасе (након једне или више вегетационих сезона), сушење и спаљивање биомасе (уз могућност екстракције метала из пепела након спаљивања).

У зависности од потребе (намене локалитета након фиторемедијације и концентracије полутаната на локацији), поступак је могуће поновити по потреби и у контролисаним условима уз додатну аерацију. На овај начин биљке постепено уклањају загађиваче. Према Deegan и сар. 2011 [153], биолошки третман отпадних вода из фармацеутске индустрије може бити спроведен аеробним и анаеробним третманима. До данас је истражено и описано око 500 биљних врста које акумулирају метале у корену, стаблу и листовима (Дражић 2011), па се на основу тога фиторемедијација може поделити на [149]:

- *Фитоекстракцију* – биљке суперакумулатори екстрахују органска загађења из земљишта и метале са којима граде различите хелатне комплексе. Те комплексе касније у зависности од јона метала који је екстрахован:
  - Акумулирају у стаблу (лист и делови стабла) - карактеристично за сребро, олово, хром, калај, вадмијум;
  - Акумулирају у ризосфери и корену - карактеристично за кадмијум, молибден, кобалт, бакар, гвожђе;
  - Распоређују по целој биљци - карактеристично је за никл, цинк и манган.

Мањи број истраживања (Verbruggen и сар. 2009) показује могућност фитоекстракције цинка и кадмијума од стране биљака из фамилије *Brassicaceae* (*Thlaspi*, *Arabidopsis*, *Alyssum*) [154], а често се помињу и способности сунцокрета (*Brassica juncea*).

- *Ризофилтрацију* – гајење биљака чији коренови систем допире до подземних вода, кроз који пролази контаминирана подземна вода из које се могу издвојити тешки метали (цинк, олово, арсен, кадмијум). Најпознатија врста која врши ризофилтрацију је сунцокрет (*Brassica juncea*) [155].

- *Фитостабилизацију* – имобилизација метала (кадмијум, кобалт, никл, хром, олово, цинк) у земљишту коришћењем биљака, уз додатак једињења која везују метале.
- *Фитоволатилизација* – усвајање волатилних метала (живе, арсена, хрома, селена) од стране биљке, која их транспортује до листова где се уз помоћ биљних ензима врши њихова редукција до мање токсичних облика а затим испаравају у атмосферу.

Међутим, треба напоменути да биоремедијација има и својих ограничења (Dileep K. Singh, 2008) [156]. Након третмана, остаци су обично безопасни производи чији састав чине угљендиоксид, вода и целулозна биомаса, али ту могу бити и нека једињења која биљка адсорбује из тла током вегетативног развоја, која се касније могу трансформисати у опасније производе а након жетве на тај начин преносити загађиваче са једне на другу локацију (Dhewa, 2011) [157].

Досадашња истраживања врсте *Miscanthus x giganteus* показала су високу способност фиторемедијације (фитоекстракције са акумулацијом метала у кореновом систему) земљишта на готово свим испитиваним локалитетима (Xie и сар. 2008 [158]; Masarovicova и сар. 2009 [159]). С обзиром да мискантус припада С-4 типу биљака, ефикасност коришћења воде је висока. Када је висока осунчаност и адекватна температура ваздуха, мискантус даје веће приносе користећи за то доступне подземне воде. Ова способност значајног коришћења подземних вода, може бити корисна уколико се жели извршити фитоимобилизација или фитоекстракција у фазама ремедијације локалитета (Clifton-Brown и сар. 2001 [160]; Van Loocke и сар. 2012 [161]; Zhuang и сар. 2013 [162]). Засади мискантуса могу се користити и као бафер (енгл. *buffer*) зона (тампон зона) самњујући сливање и продирање вода богатих нитратима које настају након ђубрења пољопривредних површина у подземне воде. Количина воде која би се на овај начин могла редуковати зависи од почетних вредности нитрата али и густине и количине усева мискантуса. На овај начин побољшао би се квалитет воде и смањило оптерећење нитратима, која би без третмана могла довести до еутрофикације и уопштеног смањења квалитета вода. Процењено је да се количина нитрата може



смањити овим путем за 60%, што би могло служити у ефикасном „хватању“ и одливању атразина (Lin и сар. 2008) [163].

У експериментима у посудама (Wilkins 1997), спроведеним сађењем *Miscanthus spp.* у земљиште оптерећено металима цинка, арсена и бакра, анализирана надземна биомаса имала је мале разлике у приносима биљке која је расла на загађеном (оптерећеном металима) земљишту и незагађеном земљишту [164]. Ова студија показала је способност мискантуса да расте и опстаје на врло загађеном тлу, при чему полутанте из зељишта у значајним концентracијама не транспортује у надземне делове, који се касније могу употребити и у друге сврхе. Осим ових, резултате у којима се истиче могућност акумулације тешких метала од стране мискантуса објавили су и Fernando и сар. 1996 [165] и Fernando и Oliveira 2004 [166], који помињу да више концентracије тешких метала у земљишту могу негативно да утичу на раст и продуктивност биљке. Мискантус је показао способност акумулације и уклањања тешких метала (кадмијума, хрома, бакра, никла, олова и цинка) чије је касније присуство забележено у подземним деловима биљке, али не и значајно у надземним деловима.

Испитивање коренових ексудата (Techer и сар. 2011) *Miscanthus x giganteus*-а указује да је биодеградација полутаната управо стимулисана ексудатима корена за контаминирани системе са: пиреном, пиреном и фенантереном, пиреном и салицилатом и пиреном и дизел горивом [167]. Наредна студија, заснована на претходном испитивању ексудата (Techer и сар. 2012) рађена је у комбинацији пирена и фенантрена, а показује да је деградација ових полутаната била већа када су били присутни ексудати корена и то нарочито кверцетин [168]. Кверцетин је у овом случају идентификован као коренов ексудат који подстиче биодеградацију.

Копша Мика (Copşa Mică) у Румунији је општина на којој су румунски истраживачи проучавали могућност употребе *Miscanthus x giganteus*-а за чишћење земљишта загађеног оловом и кадмијумом. Просечна вредност концентracије метала у земљишту на дубини од 20 cm била је 680 mg/kg за олово и 13 mg/kg за кадмијум (Iordache и сар. 2010) [169]. Тестирани простор обухватао је око 5000 m<sup>2</sup>, у граду Копша Мика, који се налази један километар од извора загађења. Ризоми мискантуса засађени су у пролеће на дубини од 10-12 cm са размаком од 1 m. Након једне године, биљке су посечене и

анализирана је концентracија тешких метала у листовима, стабљикама и ризомима. Укупно акумулирани метали од стране *Miscanthus x giganteus*-а из контаминираног земљишта, након прве године били су прилично ниски, а нарочито мала концентracија забележена је у стаблу и листовима. Просечна вредност укупно акумулираних метала износила је између 35 и 55 g/ha на нивоу једне (прве) године, што аутори (Barbu и сар. 2009 [170]; Iordache и сар. 2010 [171]; Barbu 2010 [172]) тумаче као способност адаптације мискантуса на услове средине и могућност гајења на земљишту оптерећеном тешким металима, у овом случају олова и кадмијума.

Истраживање спроведено на земљишту оптерећеном органским загађивачима објавили су Tschet и сар. 2012 који су засадили *Miscanthus x giganteus* на две локације површине 16 m<sup>2</sup> на индустријском подручју [168]. Раст мискантуса забележен је на обе локације, где је након прве сезоне раст стабљика на једној од локација био нешто виши, док су у наредним сезонама резултати раста били врло слични. Током експерименталних година, из посађених ризома израсла су 2-3 изданка на једном квадратном метру [173]. То се може повезати са ограниченошћу раста због високог оптерећења органским загађивачима.

Могућност раста мискантуса, на пољу близу велике топионице метала коришћене више од једног века (све до 2003. године) у Француској, проценили су Iqbal и сар. 2013. На локацији је забележено било присуство кадмијума, бакра, олова и цинка, а засађене врсте у циљу праћења ремедијације су боб, шећерна репа, пшеница и мискантус. Земљиште испод засада мискантуса показало је значајно мање концентracије бакра и олова у односу на земљиште на ком су расле друге засађене врсте [174].

Претходно поменуто спроведено испитивања указују да је након уклањања биомасе коришћеног мискантуса у процесима фиторемедијације, њу могуће користити као енергент или за производњу грађевинских материјала.

### **6.1.2. Биоенергетски усеви и аспекти продукције**

За одређивање енергетског потенцијала неке сировине, најзначајније факторе представљају: топлотна моћ и принос суве биомасе, који доста зависи од особина тла и климатских услова [175]. Поред поменутих, значајне карактеристике приликом

сагоревања биомасе представљају садржај влаге приликом жетве и садржај пепела након сагоревања, који највише зависе од времена када се жетва обавља, затим количина сагоривих и несагоривих компоненти (K, Cl, N, S) и количина енергије која се може добити по јединици површине засада [176]. Сходно поменутиим карактеристикама, биомасу мискантуса према АЕБИОМ, European Biomass Statistics 2007, карактеришу ниске вредности садржаја влаге при жетви, високи приноси суве биомасе по хектару, низак садржај несагоривих компоненти и пепела након сагоревања, високе вредности доње топлотне моћи и добијене енергије по хектару површине, што у поређењу са другим лигноцелулозним биљкама указује на врло погодне карактеристике сировине која се може користити за добијање енергије сагоревањем (Табела 6.1.2.1.).

Табела 6.1.2.1. Карактеристике лигноцелулозних биљних врста које се користе у енергетске сврхе [176]

Врста	Садржај влаге при жетви (%)	Принос суве материје (t/ha годишње)	Количина ен. по хектару (GJ/ha)	Доња топл. моћ (MJ/kg суве масе)	Садржај пепела (%)
Слама	14,5	2-4	35-70	17	5
Конопља	/	10-18	170-300	16,8	/
Трска (Giant reed)	50	15-35	245-570	16,3	5
Switchgrass	15	9-18	/	17	6
Мискантус	15	8-32	140-560	17,5	3,7
Врба	53	8-15	280-315	18,5	2,0
Топола	49	9-16	170-300	18,7	1,5
Багрем (Black locus)	35	5-10	100-200	19,5	/
Дрво	50	3-5	74,8	18,7	1-1,5

Поредећи са другим енергетским усевиима, мискантус даје више енергије и више биомасе по хектару [177], [61], док су више вредности и приноса суве материје. Поједини аутори наводе поређење мискантуса са другим енергетским добицима по истој јединици површине, па тако према Sims и сар. 2006, 204 GJ/ha које даје мискантус је значајно ви у односу на 168 GJ/ha које даје биомаса брзорастућих топола и врба, 27 GJ/ha из уљаних семена биоетанола и 14-114 GJ/ha из етанола произведеног од скроба и шећера [178]. Осим тога, виши приноси по хектару и његова способност раста на различитим типовима земљишта дају предност употреби мискантуса. Један од разлога

што мискантус даје више приносе може се навести и припадност C-4 врсти биљака за чији раст и развој није неопходна висока температура и интезитет светлости, а прилагођавају се и променама у доступности воде [40]. Мискантус има и дужу вегетациону сезону, а једном успостављена плантажа може се експлоатисати најмање 20 година без додатних агротехничких улагања.

У циљу добијања топлоте из биомасе мискантуса, пожњевена биомаса се употребом различитих технологија уситњавања и сабијањем преводи у чврста биогорива у облику брикета и пелета, који се од могу добити обрађивњем пожњевене биомасе директно на терену или одвозити и прерађивати у погонима за обраду. Пример машине за брикетирање којом се може обавити и брикетирање мискантуса је BIOMASSER® 2Duo-Set (SERWIS АКРiА, Познањ, Пољска) (Џелетовић и сар. 2012) [179].

Према Defra 2007, енергетска вредност 20 t/ha суве масе мискантуса еквивалентна је енергетској вредности од 8 t угља [89], док поједини аутори одређују да је енергетска вредност 1 t суве биомасе мискантуса у опсегу 15-19 GJ [180,52,175]; што се може поредити са сличним вредностима које даје огревно дрво или угаљ слабијег квалитета.

Осим чврстих горива, од лигноцелулозних биљака могуће је добити и биоетанол који се често добија од биљака прве генерације, коришћених у људској и животињској исхрани (пшеница, јечам, кукуруз, раж, шећерна репа, сирак и др.). Према Бабовић и сар. 2012, за производњу биоетанола могуће је користити и лигноцелулозне биљке друге генерације, које обухватају остатке из пољопривредне производње (пшенична слама, кукуруз, шећерна трска и сл.), шумске продукте (дрво), али и енергетске усеве гајене управо за те сврхе (мискантус, тора, врба, конопља и сл.) [138] што би довело до смањења негативних ефеката по животну средину. Биоетанол добијен из ових врста има потенцијал да буде додатак бензину, али уз унапређење технологије рада мотора са унутрашњим сагоревањем могао би бити коришћен и сам. На овај начин би се допринело смањењу потрошње нафте, чији су ресурси ограничени и све скупљи. Према Ноогвијк и сар. 2003 [181], усеви друге генерације који се могу користити у производњи биогорива, могу се поделити у две групе:

- Брзорастуће дрвеће (врба, топола, еукалиптус и црни багрем);

- Траве, једногодишње и вишегодишње: из породице *Poaceae* чији је представник мискантус (*Miscanthus sinensis*, *Miscanthus saccharijiorus*, *Miscanthus x giganteus*); „switchgrass“ (*Panicum virgatum L.*); токавица (*Phalaris arundinacea L.*); трска (*Phragmites australis*); дивљи сирак (*Sorghum halepense Cav.*); шећерна трска (*Saccharum spp.*).

Према Fruhwirth и Liebhard 2004, процењује се да енергетски усеви *Miscanthus x giganteus*-а могу снабдети до 12% енергетских потреба Европске уније до 2050. године [182].

Могућност коришћења маргиналног земљишта за узгајање енергетских засада мискантуса представља предност ове врсте јер није неопходно коришћење пољопривредних површина или површина које могу бити употребљене за те намене (Cai и сар. 2011 [183]; Gopalokrishnan и сар.2011 [184]; Qin и сар. 2011 [185]).

Интерес добијања биогорива добијених из друге генерације вишегодишњих трава значајно је порасла у земљама Централне и Југоисточне Европе (Kahle и сар. 2001 [186]; Lyubun и Tychinin 2007 [187]; Stasiak 2007 [188]; Majtkowski и сар. 2009 [189]) укључујући и Украјину и Словачку (Fischer 2005 [190]; Masarovicova и сар. 2009 [159]; Rakhmetov 2007 [191]; Stefanovska и сар. 2011 [192]; Pidlisnyuk 2012 [193]), као и Сједињене Државе (USDA, 2011) [194].

Према Перић и сар. 2018, 22 t лигнита може бити замењено са 23,5 t брикета мискантуса, што би утицало на смањење од 70,059 kg CO<sub>2</sub> eq, 174 kg P eq, 66 kg N eq и 208 kg SO<sub>2</sub> eq [195].

Сличне резултате дали су и Lewandowski и сар. 1995, који су навели да сагоревањем мискантуса уместо тешких угљева може се редуковати емисија CO<sub>2</sub> за 90%. Исти аутори наводе да се 23 t трупаца двета може заменити у енергетском смислу са 23,5 t брикета мискантуса, што би сачувало: 4852 kg CO<sub>2</sub> eq, 3 kg о P eq, 34 kg N eq и 23 kg SO<sub>2</sub> eq, и [195]. Резултати овог поређења лигнита и дрвета показују боље карактеристике мискантуса у 12 од 14 поредбених категорија, што подстиче употребу биомасе мискантуса за грејање домаћинства као еколошки прихватљивију опцију.

## **6.2. Нови неконструкциони грађевински материјали са добрим термоизолационим особинама и примена мискантуса у лаким конструкционим бетонима**

Према Закону о енергетској ефикасности РС, у категорију грађевинских термоизолационих материјала спадају они материјали чија је вредност топлотне проводљивости ( $\lambda$ ) испод 0,06 W/(mK). Остали материјали који се користе или се тек могу увести у употребу као „нови“ материјали, а немају тражену вредност топлотне проводљивости, већ у одређеној мери одступају од ње, могу се класификовати као неконструкциони грађевински материјали са добрим термоизолационим особинама, сходно саставу који их сачињава.

Мискантус је традиционално коришћен у Јапану као материјал у изградњи објеката (Stewart и сар. 2009) [196]. У Данској, Ирској и Енглеској од деведесетих година су све актуелнији трендови изградње еколошких кућа (Fowler и сар. 2003) [197]. Досадашњи грађевински материјали од мискантуса подразумевали су израду и примену: плоча од влакана мискантуса (Velasquez и сар. 2003) [198], композити у чијем је саставу поред мискантуса било и дрво (Park и сар. 2012) [199], и бетон и блокови (ValBiom, 2009) [200]. Употреба мискантуса као испуне у лаким сендвич грађевинским материјалима помиње се у употреби у Великој Британији и Данској (Bullard and Nixon, 1999) [201] и демонстрира у Немачкој [197].

Један нови неконструкциони грађевински материјал са добрим термоизолационим особинама направљен је мешањем различитих односа осушене и уситњене биомасе *Miscanthus x giganteus*-а, гашеног креча (тзв „кречне пасте“), зеолита и потребне количине воде за уграђивање. Иако друга, комерцијално коришћена средства, имају боље везивне особине, гашени креч је у овом случају изабран као везивно средство због бољих еколошких карактеристика (уштеде енергије приликом производње, мањег загађења животне средине и мањих негативних утицаја на климатске промене приликом процеса производње). Најчешће коришћени материјал у грађевини, цемент, уједно представља и један од нарочито енергетски неефикасних материјала због огромне количине енергије која се троши за његову производњу као и емисије гасова (од којих је

најзначајнија емисија великих количина угљен диоксида) са утицајем на ефекат стаклене баште [99].

Тестирања су вршена на узорцима облика коцке и призме, а топлотна проводљивост на узорцима плоча.

### **6.2.1. Одређивање физичко-механичких особина**

Израда испитиваних узорака и одређивање физичко-механичких особина извршени су на начин наведен и појашњен у поглављу 3.3. Припрема узорака грађевинских материјала, рађена је за узорак облика коцке и призме, и то у дупликату за коцке и трипликату за призме. Резултати мерења приказани су као средње вредности.

На основу претходних испитивања и могућности поређења, узорци су направљени у 6 серија.

Пре почетка израде узорака, одређен је водовезивни фактор који представља однос масе чврстог везива и масе воде, где је у складу са тим прво одређена количина воде у саставу „кречне пасте“, а затим рачунским путем одређена вредност водовезивног фактора, према већ објашњеној методологији.

Количина воде одређена је као количник маса „кречне пасте“ пре и након сушења до константне масе у сушници на температури од 100°C. Маса воде је у нашем случају износила 768 g (разлика између првобитне масе (пре сушења) од 1269 g и масе након сушења од 501 g). Према једначини за одређивање водовезивног фактора (приказаној у подпоглављу 3.3.3. Одређивање водовезивног фактора у оквиру поглавља 3. Методологија рада), водовезивни фактор је 1,53 добијен израчунавањем односа вредности масе воде 768 g и масе чврстог везива 501 g). Према Мурављов 2007 [98], чврстоћа материјала је мања што је водовезивни фактор већи. Коришћена оваква „кречна паста“ лакша је за употребу због хомогенизације материјала (узорака), али због већег садржаја воде захтева нешто дуже сушење (Костић 2018) [202].

### 6.2.1.1. Одређивање физичко-механичких особина узорака облика коцке

Узорци коцки за све серије рађени су у дупликату. Масени односи компоненти за сваку серију појединачно дати су у Табели 6.2.1.1.1.

Узорци I и II серије рађени су без додавања воде обзиром да коришћена „кречна паста“ у свом саставу има одређену количину воде, измерену одређивањем водовезивног фактора пре почетка израде узорака.

Узорци III, IV и V серије рађени су са свим претходно поменутих компонентама али комбинацијом различитих масених односа везивних компоненти („кречне пасте“ и зеолита).

Узорци серије VI урађени су без зеолита, како би се тестирале физичко-механичке особине узорака.

Табела 6.2.1.1.1. Масени односи узорка облика коцке ( $m_{\text{mis}}$  - маса мискантуса,  $m_k$  - маса гашеног креча,  $m_z$  - маса зеолита,  $m_v$  - маса воде)

Серија	$m_{\text{mis}}$ [g]	$m_k$ [g]	$m_z$ [g]	$m_v$ [g]
I	300	1300	180	-
II	300	1000	180	-
III	300	700	180	400
IV	300	500	180	300
V	300	500	400	350
VI	300	500	-	1000

Након мешања и хомогенизације, смесе свих серија узорака уграђиване су ручно у калупе облика коцке и остављане на природном сушењу 7 дана, након којих је вршено раскалупљивање и мерена маса, која је означена као почетна маса  $m_{0v}$ . Узорци су потом обележени и остављени на даљем природном сушењу још 21 дан, након кога је поново мерена маса и димензије узорака, а затим и апсолутна влажност узорака (На) према формули датој у поглављу 3.3.6. Мерење физичко-механичких особина узорака. Након свих механичких мерења израчунате су и у Табели 6.2.1.1.2. приказане средње вредности измерених узорака, од израђена два узорка у свакој серији.



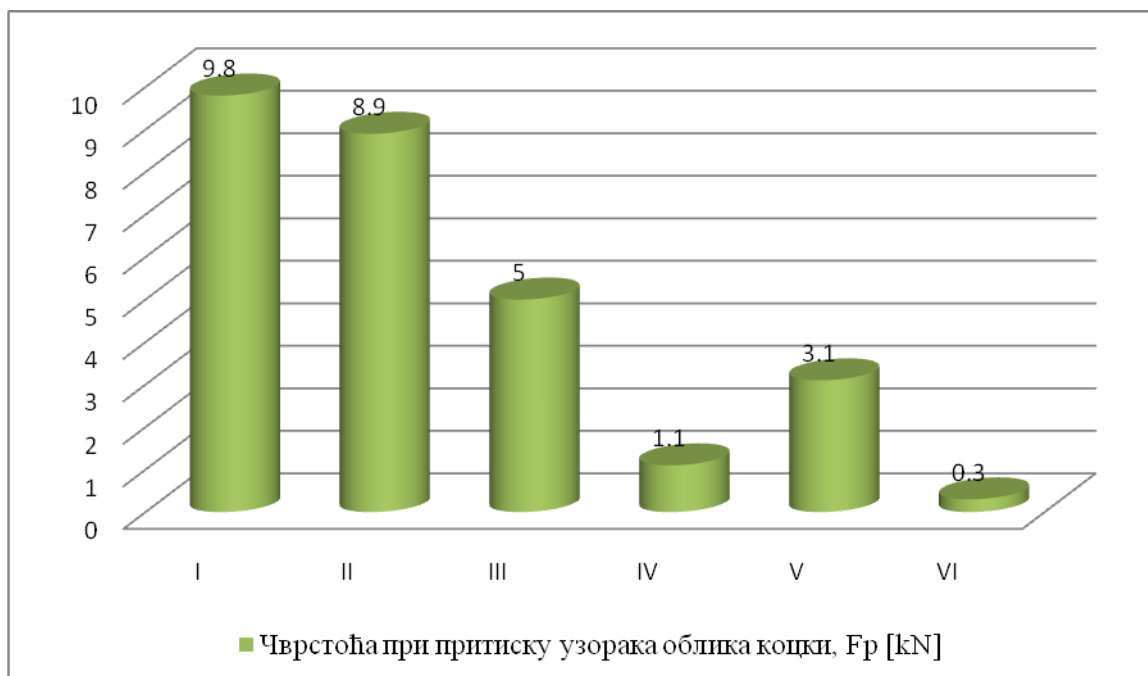
Табела 6.2.1.1.2. Физичке особине узорака облика коцке

Серија	$\gamma_u=(m/V)$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\gamma_{u0}$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\gamma_{28}$ [kg/m <sup>3</sup> ]	Димензије узорака [cm]	На [%]
I	1201	1086	697	9,75 x 9,75 x 9,70	55,81
II	1011	917	622	9,85 x 9,55 x 9,80	47,43
III	1021	934	515	9,90 x 9,75 x 9,35	81,36
IV	881	781	656	10,75 x 10,45 x 9,75	19,05
V	1042,5	916	779	9,95 x 9,75 x 9,70	17,59
VI	664,5	564,5	363	10,00 x 12,00 x 11,00	55,51

Применом граничне силе која је деловала на две наспрамне стране коцке, од два мерења одређена је сила при којој долази до пуцања коцки, читавањем вредности на преси описаној у поглављу 3.3.6. Мерење физичко-механичких особина узорака. Средње вредности чврстоће при притиску приказане у Табели 6.2.1.1.3., на основу чијих вредности је извршено поређење приказано у Дијаграму 6.2.1.1.

Табела 6.2.1.1.3. Чврстоћа при притиску (Fp) узорка облика коцки

Серија	b <sub>sr.</sub> [cm]	h <sub>sr.</sub> [cm]	Fp [MPa]
I	9,75	9,75	9,8
II	9,85	9,55	8,9
III	9,90	9,75	5,0
IV	10,75	10,45	1,1
V	9,95	9,75	3,1
VI	10,00	11,00	0,3



Дијаграм 6.2.1.1. Чврстоћа при притиску узорка облика коцки

Резултати чврстоће при притиску узорка коцки, приказани на Дијаграму 6.2.1.1. показују највишу чврстоћу узорка I и II серије, у чијем саставу највише има „кречне пасте“, која је евидентно утицала на више вредности чврстоће узорка у односу на узорке у којима има мање „кречне пасте“ а више додатог пуцолана, тј. зеолита. Поредећи резултате IV и V серије, које се разликују једино по масеном односу зеолита, чија је заступљеност виша у V серији, показује и вишу чврстину при притиску у тој серији. Најнижа вредност чврстоће при притиску 0,3 kN измерена је за узорке VI серије у којој је потпуно избачен зеолит као пуцолан. Као што је и било очекивано, према Мурављов (2007), додаток материјала са пуцоланским својствима (оптимално од 20 до 30%) [98] утицало је и на повећање чврстоће материјала, док на чврстоћу утиче и виши садржај везива генерално. С обзиром да чврстоћа материјала није једина и пресудна вредност материјала, у обзир се узимају и остале карактеристике физичких особина, па се за даље тестирање топлотне проводљивости бирају они узорци са средњом вредности чврстоће.

Узорци прве две серије показали су навише вредности чврстоће при притиску што се може сматрати последицом највеће запреминске масе у односу на остале узорке, а услед

високог садржаја „кречне пасте“ у мешавини са уситњеном биомасом мискантуса. Треба напоменути и то да је ручна уградња у калупе узорака, допринела мањој количини ваздуха у порама, чија је и последица виша чврстоћа узорака. Материјал је уграђиван ручно јер се претходна проба употребе пресе показала неефикасном. Наиме, материјал је у калупу уз помоћ пресе лако сабијен, али уз значајно изливање „кречне воде“ (мешавине везива и воде додате у циљу бољег мешања и уграђивања материјала). Након престанка дејства притиска од стране пресе, материјал у калупу имао је тенденцију враћања (бубрења), као последица присуства велике запреминске масе биљних влакана мискантуса, које имају изражене еластичне особине.

### 6.2.1.2. Одређивање физичко-механичких особина узорака облика призме

Узорци облика призми рађени су у трипликату, у масеним односима истим као и за коцке, али прерачунатим за количину материјала потребним за израду 3 призме.

Физичке особине (запреминске масе све три призме у серији након израде ( $\gamma_u$ ) и након раскалупљивања ( $\gamma_{u0}$ ), просечне вредности запреминске масе од три израђене призме у серији након сушења од 28 дана ( $\gamma_{28}$ ), просечна димензија призме и апсолутна влажност (На) приказане су у Табели 6.2.1.2.1.

Табела 6.2.1.2.1. Физичке особине узорка облика призми

Серија	$\gamma_u=(m/V)$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\gamma_{u0}$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\gamma_{28}$ [kg/m <sup>3</sup> ]	Димензије узорака ( $d_{sr.}, h_{sr.}, b_{sr.}$ ) [cm]	На [%]
I	410,16	325,52	251,30	15,90 x 3,85 x 4,00	29,53
II	345,05	282,55	218,75	15,80 x 3,90 x 3,80	29,17
III	325,52	244,79	169,27	15,70 x 3,90 x 3,80	44,62
IV	604,17	473,96	444,01	15,85 x 3,85 x 4,00	6,74
V	631,51	479,17	446,48	15,87 x 3,85 x 4,20	7,32
VI	436,20	380,21	324,22	15,87 x 3,82 x 4,10	17,27

Највиша вредност апсолутне влажности добијена је код узорака из треће серије који су израђени са истим садржајем зеолита као и узорци прве и друге серије, али са значајно мањом количином креча и додатком воде које у првој и другој серији нема. Поредићи

апсолутну влажност шесте серије са претходне две (четвртом и петом) због истог састава али у различитом масеном односу, њој је такође додата већа количина воде, па се може закључити да апсолутну влажност одређује висока вредност воде, али и кречне пасте која задржава одређени степен влажности.

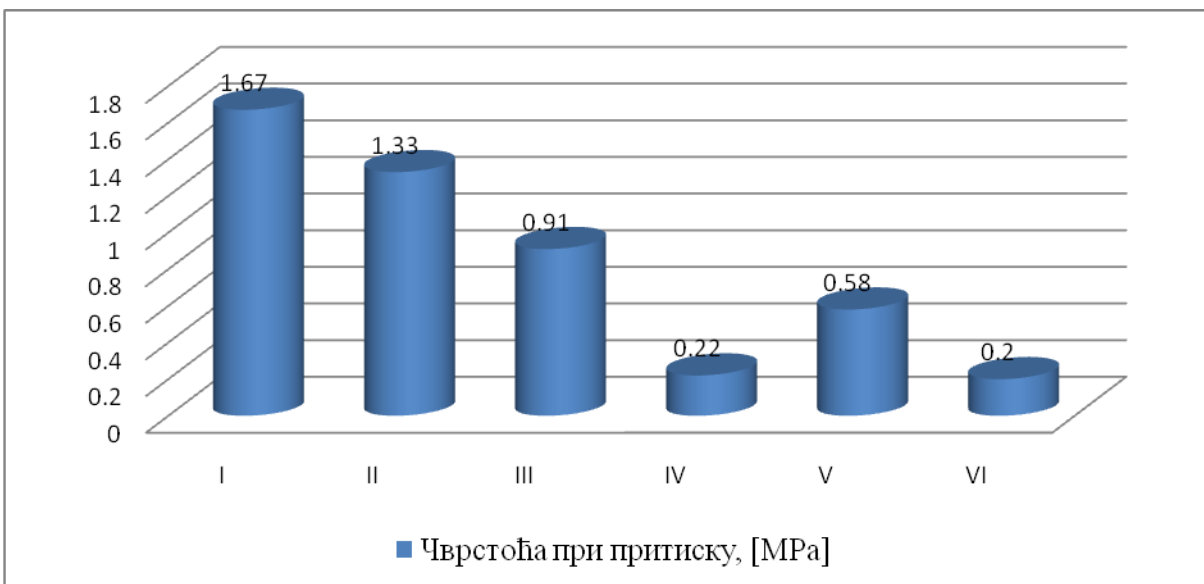
Код узорака облика призми, осим одређивања чврстоће при притиску, одређена је и чврстоћа при затезању смицањем ( $F_{zs}$ ) за све серије узорака (Табела 6.2.1.2.2), а на пресама и према методологији описаним у поглављу 3.3.6. Мерење физичко-механичких особина узорака. Вредности ових сила израчунате су на основу формула за примењену силу до граничних вредности при којима долази до пуцања узорака, а резултати су приказани и на Дијаграмима 6.2.1.2.1. и 6.2.1.2.2.

Због своје мале запреминске масе и ручног начина уграђивања материјала, порозност материјала је код призми нешто виша у односу на коцке, што утиче на бољу термоизолацију, с обзиром да је према Мурављов (2007) ваздух слаб проводник топлоте [98].

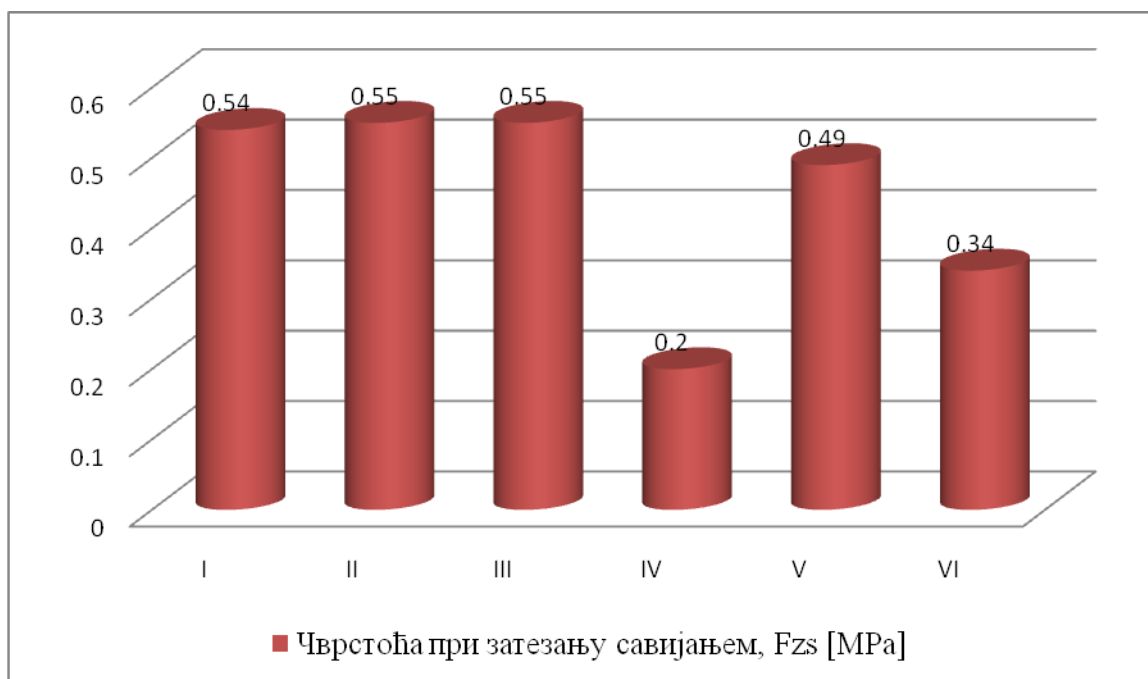
Табела 6.2.1.2.2. Чврстоћа при притиску и чврстоћа при затезању смицањем за узорке облика призми

Серија	$b_{sr.}$ [cm]	$h_{sr.}$ [cm]	$F_{zs}$ [MPa]	$F_p$ [MPa]
I	4,00	3,85	0,54	1,67
II	3,80	3,90	0,55	1,33
III	3,80	3,90	0,55	0,91
IV	4,00	3,85	0,20	0,22
V	4,20	3,85	0,49	0,58
VI	4,10	3,82	0,34	0,20

Резултати вредности чврстоће при притиску ( $F_p$ ) добијени су као просечне вредности испитивања на узорцима облика призме и то 4 половичне призме по серији након примене граничне силе.



Дијаграм 6.2.1.2.1. Чврстоћа при притиску узорака облика призме



Дијаграм 6.2.1.2.2. Чврстоћа при затезању смицањем узорака облика призми

На Дијаграму 6.2.1.2.3. приказане су упоредно вредности чврстоће при притиску за узорке облика коцки и облика призми.

### 6.2.2. Одређивање топлотне проводљивости

На основу резултата физичко-механичких мерења претходно анализираних узорака, одабрана је III серија, са најоптималнијим карактеристикама и вредностима чврстоће при притиску, али и осталим физичким особинама.

Како би се даље понашање материјала одабраног масеног односа испитало, а пре свега топлотна проводљивост као кључна карактеристика термоизолационих материјала, потребно је било направити узорке облика плоче величине 50cm x 50cm x 6cm, у масеном односу одабране серије III.

Подаци о достављеном узорку, дати су у Табели 6.2.2.1.

Табела 6.2.2.1. Спецификације узорка облика плоче чија је топлотна проводљивост испитана

Карактеристике узорка	Вредности
Датум достављања узорка	11.12.2017.
Димензије узорка	50cm x 50cm x 6cm
Количина узорака	1
Опис узорка (запреминска маса материјала у саставу узорка)	мискантус $\gamma=300 \text{ kg/m}^3$ креч $\gamma=700 \text{ kg/m}^3$ зеолит $\gamma=180 \text{ kg/m}^3$ вода $\gamma=400 \text{ kg/m}^3$
Сушење узорка до константне масе	11.12.2017. - 17.01.2018.
Маса узорка након сушења, до константне масе	8,15 kg
Датум почетка испитивања и метод	17.01.2018. HOT BOX

Методологија и коришћени стандарди за мерење топлотне проводљивости материјала у квазистационарном стању према HOT BOX методологији, објашњени су у поглављу 3.3.8. Мерење топлотне проводљивости, у Институту за материјале Србије (ИМС).

Мерење је извршено од 17. до 19. јануара 2018. године, где резултати показују вредности средње густине топлотних флукса у  $\text{W/m}^2$ . Приликом обраде резултата након мерења, потребно је било средње вредности температура из милivolти (mV) претворити у степене Целзијуса ( $^{\circ}\text{C}$ ). Због политике рада ИМС-а, није било могуће моје физичко присуство за време мерења, већ смо добили резултате измерених вредности, а који су дати у Табели 6.2.2.2.

Табела 6.2.2.2. Измерене вредности топлотне проводљивости узорка методом HOT BOX

Посматрани параметар	Измерена вредност
Средња унутрашња температура $T_{u\ sr}$	17,93 [°C]
Средња спољашња температура $T_{s\ sr}$	12,73 [°C]
Средња густина топлотног флука ( $F_{sr}$ )	10,76 [W/m <sup>2</sup> ]
Средња вредност измерене топлотне проводљивости материјала ( $\lambda_{sr}$ )	0,124111[W/(mK)]

Према Правилнику о енергетској ефикасности зграда, топлотна проводљивост правих термоизолационих материјала је испод 0,06 W/(mK) [106]. Међутим, у Табели 3.4.1.2. поменутог Правилника, у одељку „XI Топлотноизолациони материјали“, дате су вредности топлотне проводљивости материјала чије вредности прелазе назначену вредност од 0,06 W/(mK) али припадају групи термоизолационих материјала. То су:

- бетон са додатком пиљевине (0,14 W/(mK) и 0,21 W/(mK)),
- синтетичке плоче од вишеслојног полиестера (0,19 W/(mK) и 0,23 W/(mK)),
- плоче од акрилне смоле (0,19 (W/mK)),
- PVMD и PVC плоче (0,21 W/(mK)),
- топлотноизолациони малтер (0,09-0,25 (W/mK)).

Према наводима из литературе за полагање стручног испита за енергетску ефикасност зграда [203] наводи се да осим правих термоизолационих материјала, посебну групу чине и термоизолациони материјали са конструкционим својствима чија се вредност топлотне проводљивости налази у између 0,06 W/(mK) и 0,30 W/(mK). Сходно томе, добијена вредност топлотне проводљивости материјала на бази *Miscanthus x giganteus*-а, који смо испитивали, показује да овај, нови, материјал са вредношћу топлотне проводљивости 0,124111 W/(mK) може класификовати као грађевински материјал са добрим термоизолационим особинама, односно „термоизолациони материјал са конструкционим својствима“.

Оваква врста материјала према својим физичким карактеристикама тренутно може бити коришћена у изградњи помоћних објеката, код којих није потребно испуњавање стандарда прописаних Правилником о условима и нормативима за пројектовање стамбених зграда и станова [204]. Међутим, модификацијом израде и додатком адитива,

премаза или неких додатних компоненти, термичке особине овог материјала могу бити унапређене, што представља наредни корак истраживања у овој области.

### 6.2.3. Резултати испитивања горивости материјала

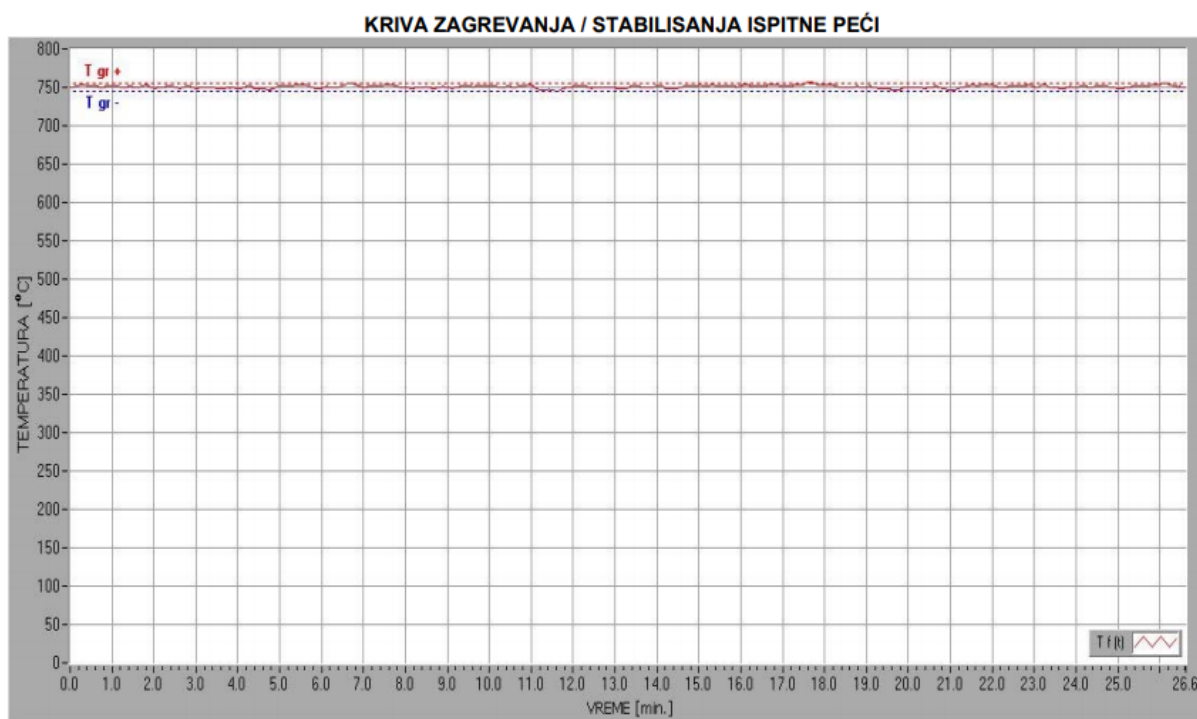
Испитивање горивости материјала, према методологији описаној у поглављу 3.3.7. Мерење горивости материјала узорка, обављено је у Институту за материјале Србије (ИМС) 27.12.2017. године према стандарду SRPS EN ISO 1182.

Почетна температура у пећи износила је 751,5°C (Слика 6.2.3.1), а максимално достигнута до краја експеримента 870°C. У току самог експеримента у централном делу узорка температура је достигла скоро 700°C, док је на површини узорка највиша температура износила 925°C (Слика 6.2.3.2.).



GFT-0201/17-NGR  
Uzorak #1

27/12/2017



Слика 6.2.3.1. Крива загревања узорка

Почетни план испитивања био је да се испитивање спроводе у трајању од 30 минута, међутим завршено је након 2,6 минута након што се испитивани материјал у

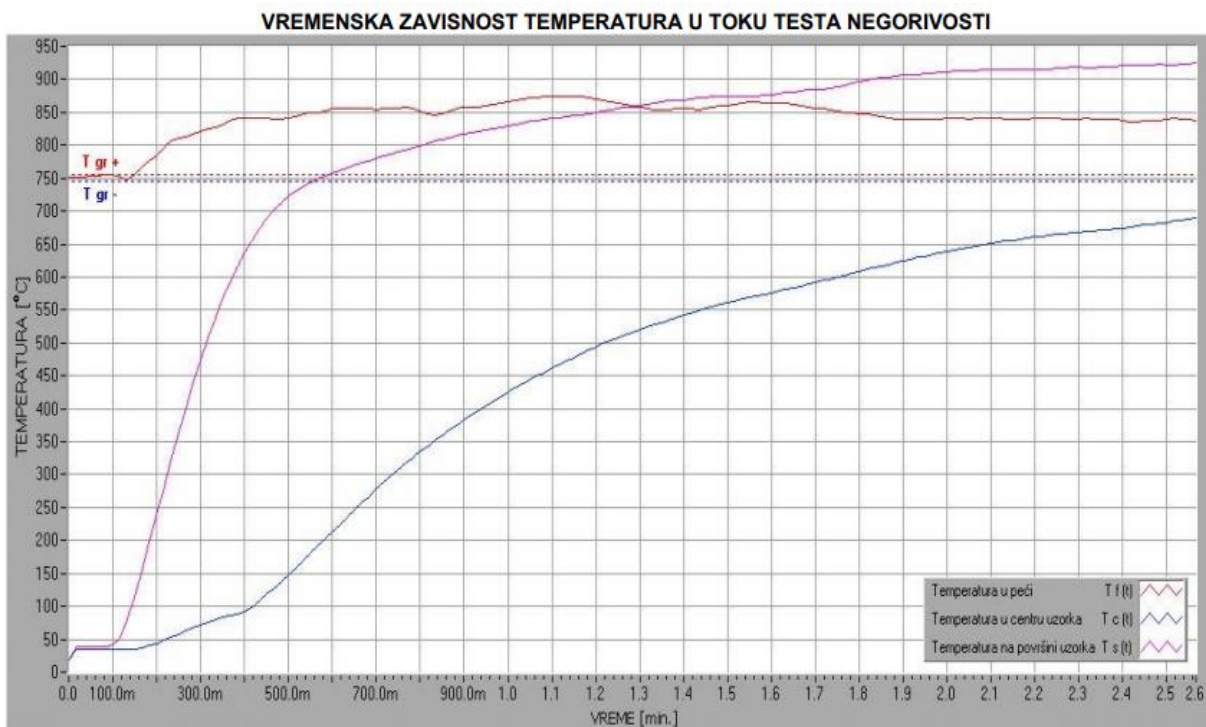


потпуности распао. Распадање материјала на вишим температурама указује на његову нестабилност и потпуно уништење на високим температурама што су показала и претходно обављена слична испитавања материјала на бази мискантуса и електрофилтарског пепела колеге Александра Костића (приказаном у његовом мастер раду у јулу 2018. године на ФПЕ Футура, Универзитета Сингидунум), и мискантуса и мултибата колегинице Иване Јелић (приказаном у њеном специјалистичком раду у мају 2018. године на Грађевинском факултету, Универзитета у Београду), у оквиру заједнички спроведеног истраживања материјала. Према коришћеном стандарду, може се установити да је у питању веома горив материјал, што се и очекивало, с обзиром на његов састав у ком је значајна вредност запреминске масе мискантуса, иначе биоенергента са високом вредности топлотне моћи, о чему је претходно дискутовано.



GFT-0201/17-NGR  
Uzorak #1

27/12/2017



Слика 6.2.3.2. Временска зависност температура у пећи, у центру узорка и на површини узорка

Као и код унапређења топлотне проводљивости материјала, тако и за унапређење и смањење горивости оваквог материјала, могу се користити адитиви и премази тј.

додаци различитих малтера. Према Мурављов (2007) [98], најбоље су се показали кречни малтери уз додатак гипса, док је за даљи развој градње потребно спровести додатна испитивања везана за утицај додатка адитива (амонијум сулфат, амонијум фосфат, борна киселина и др.) који би смањили запаљивост материјала.

#### **6.2.4. Употреба мискантуса у конструкционим материјалима – лаки бетони**

Вођени резултатима истраживања која су показала да материјали израђени од мискантуса припадају групи тзв. „термоизолационих материјала са конструкционим својствима“, испитана је могућност израде (са препорукама за даљу производњу) конструкционих грађевинских материјала на бази целулозе (у овом случају мискантуса), тзв. лаких бетона.

Пројекат под називом: „The Innovative Low Carbon Building Materials Based On *Miscanthus x giganteus* Plant Source the New Bio-Concrete Materials In Green Building Industry”, реализован је у сарадњи Факултета за примењену екологију Футура, Универзитета Метрополитан из Београда и Департмана за грађевинарство и геодезију, Факултета техничких наука, Универзитета у Новом Саду, уз техничку подршку „Транскоп доо“ из Параћина и покровитељство Европске банке за обнову и развој (ЕБРД). Резултати пројекта дали су иновативне податке у пољу могућности коришћења мискантуса у грађевинским материјалима (бетонима), поредећи га са сличним бетонима који имају испуну од органске материје („дурисол“).

Принцип израде и мерења физичких особина материјала, није се разликовао од приступа који је коришћен при анализи претходно објашњеног термоизолационог материјала на бази мискантуса. Као агрегат коришћен је наравно сецкани мискантус, а као везивна средства коришћене су мешавине различитих односа хидратисаног креча, метакаолина и гипса или хидратисаног креча, портланд цемента и гипса (Шеклер И. и сар. 2021) [205]. Рађене су четири серије код којих су се разликовали масени односи, а у четвртој серији су коришћене и ситније фракције мискантуса, док је целокупна смеша са већим притиском уграђена у калуп. Састав серија био је:

- I Серија: мискантус (1000 g) + везиво (1500 g, хидратисани креч, метакаолин, гипс) и вода за уградњу

- II Серија: мискантус (3000 g) + везиво (480 g, хидратисани креч, портланд цемент, гипс) и вода за уградњу
- III Серија: мискантус (2000 g) + везиво (800 g, хидратисани креч, метакаолин, гипс)
- IV Серија: мискантус (1000 g, ситније фракције) + везиво (1500 g, хидратисани креч, метакаолин, гипс) и вода за уградњу

Након раскалупљивања и сушења, вршена су мерења сваког узорка. Измерене физичке особине (димензија, маса, запреминска маса, чврстоћа при притиску) узорака старих 14 дана (Табела 6.2.4.1.) приказују да је узорак четврте серије показао најбоље вредности запреминске масе, као и најбоље вредности чврстоће при притиску, које се могу поредити са дрвобетоном (дурисолом), чије се вредности у Правилнику о енергетској ефикасности објеката [106] за запреминску масу крећу у интервалу од 550 до 800 kg/m<sup>3</sup> а вредности чврстоће при притиску од 1 до 2,7 МПа. Уз даље модификације и унапређење поступка израде материјала, у даљим фазама истраживања узео се у обзир цена и исплативост оваквог материјала. Без обзира на то, овај тип материјала има иновативни приступ израде, припада групи лаких и еколошки прихватљивих материјала.

Табела 6.4.2.1. Димензије узорака, маса, запреминска маса и чврстоћа при притиску

Серија	a [mm]	b [mm]	c [mm]	m <sub>14</sub> [g]	γ <sub>z</sub> [kg/m <sup>3</sup> ]	P [kN]	f <sub>p,14</sub> [MPa]
I	150,0	149,0	148,0	1385,7	418,92	16,8	0,75
II	148,5	147,0	117,0	1184,7	463,85	18,5	0,82
III	149,5	147,0	107,5	1547,1	652,64	35,4	1,57
IV	149,5	151,0	152,5	2410,5	700,19	56,5	2,51

### 6.3. Одређивање митигационих потенцијала мискантуса

#### 6.3.1. Климатске карактеристике у Србији са акцентом на Сремску Митровицу од 2012. до 2019. године

Србија је континентална земља у југоисточном делу Европе и средишњем делу Балканског полуострва. Географски посматрано чине је: Панонска низија; брежуљкасти предели с равничарским деловима и нижим планинама и планински

предели, који између осталих фактора, одређују умерено континенталну климу са израженим локалним карактеристикама у већем делу земље. На местима са преко 1000 m надморске висине преовладава континентална клима, док се југозападни предели Србије налазе између континенталне и средоземне суптропске климе [6]. Најтоплији месец је јул, најхладнији јануар, а најкишовитији јун. Карактеристично је присуство сва четири годишња доба, где је јесен топлија од пролећа, са израженијим падавинама у топлијој половини године и забележеним екстремним временским приликама у претходним годинама.

Према Копеновој класификацији климе, која подразумева одређивање климе на основу распореда вегетације, већи део територије Србије има кишну и умерено топлу климу уз топла лета, док планинске пределе одликује шумска, снежна клима [6].

Према инвентару гасова са ефектом стаклене баште (GHG) који је радила Агенција за заштиту животне средине Републике Србије, највећи удео емитованих гасова у 2014. години потиче из сектора енергетике (80% укупних емисија GHG), док је 2000. године тај удео у укупним емисијама гасова био 79,2 % [6]. Осим енергетике, удео у емисијама имају и послови из области пољопривреде, шумарства и коришћења земљишта. Даље пројекције трендова промене концентрација укупних емисија гасова и емисија GHG из различитих области до 2030. године (уз прављење пресека 2015, 2020. и 2025. године), израђене су кроз три сценарија: основни сценарио, сценарио „са мерама” и сценарио „са додатним мерама” [6].

Према израђеним сценаријима, „са мерама” до 2030. године смањење укупних емисија очекује се за 14,37%, док би „са додатним мерама” очекивано смањење у односу на основни сценарио износило 23,50% [6]. Потребна финансијска средства за реализацију активности из сектора енергетике, отпада и шумарства, а која би допринела мањој укупној емисији и мањој емисији GHG приказана су у Другом извештају Републике Србије према Оквирној конвенцији Уједињених нација о промени климе, који даје и податке о пројектованим емисијама по секторима према основном и сценаријима „са мерама“ и „са додатним мерама“ (Табела 6.3.1).

Ако посматрамо дугорочне пројекције са спроведеним „додатним мерама“ до 2050. године теоријски би смањење емисије GHG у односу на сценарио „са мерама“ могло

бити за 35%, док би се у односу на „основни сценарио“ емисије могле смањити и за 49% [6].

Табела 6.3.1. Поређење пројекција укупних и емисија GHG у Србији према основном и сценаријима „са мерама“ и „са додатним мерама“ [6]

Тип сценарија	Укупне емисије измерене у секторима енергетике, индустријским процесима, пољопривреди и отпаду (Gg CO <sub>2</sub> eq)				
	1990.	2015.	2020.	2025.	2030.
Основни сценарио	83.519,50	70.783,23	79.442,37	80.661,99	87.099,71
Сценарио „са мерама“	83.519,50	68.410,42	70.966,54	70.749,05	75.293,72
Сценарио „са додатним мерама“	83.519,50	66.015,15	65.164,09	63.475,53	67.613,66

Сумиране пројекције у табели 6.1. указују на значајно мање концентracије емисија гасова, нарочито оних са ефектом стаклене баште уколико се спроведу додатне мере у циљу унапређења тренутног стања у кључним секторима (навишим загађивачима) у Србији, и то у:

- сектору енергетике (који се тренутно највише заснива на употреби фосилних горива, сагоревању лигнита, високој заступљености енергетски неефикасних објеката, ниској заступљености коогенерационих постројења, недовољној употреби обновљивих извора енергије и сл.),
- сектору индустрије (кроз замену застареле технологије, повећање енергетске ефикасности постројења, уклањање историјских загађења, развој система за пречишћавање отпадних материја (отпадних вода и емисија гасова продуката сагоревања) и сл.),
- сектору пољопривреде (кроз спровођење добре пољопривредне праксе, производњу биогорива из остата их пољопривреде, побољшање агротехничких мера које се примењују и сл.),
- сектору отпада (кроз смањење примарног настанка отпада, смањење амбалажних паковања, значајно повећање процента рециклаже опада, санирања дивљих депонија, оспособљавање санитарних депонија и сл.).

Према предвиђањима Програма Уједињених нација за развој (UNDP) у Србији, климатске промене највише утицаја имаће на принос кукуруза, где се до 2030. године у ненаводњаваним деловима може очекивати принос мањи и до 58%, уколико се не спроведу мере прилагођавања [7]. У циљу прилагођавања и правовременог реаговања на новонастале климатске услове који имају велики утицај на сектор пољопривреде, мере адаптације треба да обухвате низ мера за смањење ризика које би се спровеле кроз увођење биљних врста отпорних на сушу и високе температуре у производњу (као што су С-4 биљке), што је врста *Miscanthus x giganteus*.

Процењене промене климе допринеће и промени вегетативног периода биљака, па се тако очекује да ће за кукуруз, соју и озиму пшеницу период цветања почињати неколико дана раније до 2030. године, а чак за више од две недеље до краја овог века [6]. Осим тога, у зависности од региона у Србији, последице ће се одразити и на смањење приноса кукуруза до -6% у периоду 2001-2030. и смањење приноса од -52 до -22% у периоду 2071-2100. године за целу територију Србије [6].

Осматрањем климатских карактеристика у Србији од 1960. до 2012. године је, приметно је просечно повећање средње дневне температуре од 0,3°C по декади [206]. У складу са тим, осам од десет најтоплијих година након 1960. године, забележено је после 2000. године. Промене климе на целој територији Србије најизраженије се огледају у продужавању топлих периода кроз повећање температуре и смањење падавина, са израженом појавом екстремних временских прилика.

За потребе ове дисертације коришћени су измерени подаци Републичког хидрометеоролошког завода Србије (РХМЗ) климатолошке мерне станице Сремска Митровица која је најближа станица огледном пољу, а чијој општини и припада село Ноћај у ком се налази огледно поље Факултета. У табелама од 6.3.1.1. до 6.3.1.7. дати су подаци о забележеним климатским карактеристикама објављеним у Метеоролошким годишњацима Агенције за заштиту животне средине [207], важним за раст и развој биљака, а у току вегетационог периода мискантуса од јуна до новембра месеца за период од 2012. до 2019. године.

Табела 6.3.1.1. Климатолошки параметри станице Сремска Митровица за 2012. годину

<b>2012. година</b>						
<b>Параметар</b>	<b>јун</b>	<b>јул</b>	<b>август</b>	<b>септембар</b>	<b>октобар</b>	<b>новембар</b>
Средња вредност Т ваздуха (°C)	22,7	24,9	23,7	19,5	12,8	9,1
Релативна влажност ваздуха (%)	64	58	51	61	76	80
Инсолација (h)	319,8	345,4	367,9	217,5	159,6	100,3
Падавине (mm)	26,8	39,6	0,4	13,3	48,3	29,5
Број облачних дана	2	2	0	4	10	8

Табела 6.3.1.2. Климатолошки параметри станице Сремска Митровица за 2013. годину

<b>2013. година</b>						
<b>Параметар</b>	<b>јун</b>	<b>јул</b>	<b>август</b>	<b>септембар</b>	<b>октобар</b>	<b>новембар</b>
Средња вредност Т ваздуха (°C)	20	22,1	22,9	15,9	13,7	8,4
Релативна влажност ваздуха (%)	74	68	64	71	76	83
Инсолација (h)	256,0	334,6	304,8	191,2	179,3	89,4
Падавине (mm)	62,0	44,7	18,3	60,9	71,6	34,1
Број облачних дана	7	2	2	7	5	12

Табела 6.3.1.3. Климатолошки параметри станице Сремска Митровица за 2014. годину

<b>2014. година</b>						
<b>Параметар</b>	<b>јун</b>	<b>јул</b>	<b>август</b>	<b>септембар</b>	<b>октобар</b>	<b>новембар</b>
Средња вредност Т ваздуха (°C)	20,3	21,5	20,6	17,1	13,2	8,5
Релативна влажност ваздуха (%)	70	76	76	81	79	83
Инсолација (h)	256,1	269,6	262,8	139,2	161,2	91,1
Падавине (mm)	37,2	74,9	55,7	136,5	57,5	9,4
Број облачних дана	5	3	2	10	10	6

Табела 6.3.1.4. Климатолошки параметри станице Сремска Митровица за 2015. годину

<b>2015. година</b>						
<b>Параметар</b>	<b>јун</b>	<b>јул</b>	<b>август</b>	<b>септембар</b>	<b>октобар</b>	<b>новембар</b>
Средња вредност Т ваздуха (°C)	20,7	24,1	23,3	18,5	11,5	6,9
Релативна влажност ваздуха (%)	69	61	68	74	85	82
Инсолација (h)	260,3	347,4	277,8	188,1	124,6	122,1
Падавине (mm)	20,8	14,8	92,8	75,6	72,2	66,4
Број облачних дана	5	2	3	9	10	7

Табела 6.3.1.5. Климатолошки параметри станице Сремска Митровица за 2016. годину

2016. година						
Параметар	јун	јул	август	септембар	октобар	новембар
Средња вредност Т ваздуха (°C)	21,5	22,5	20,5	17,7	10,3	6,4
Релативна влажност ваздуха (%)	73	73	76	75	83	83
Инсолација (h)	224,6	289,0	266,4	208,4	116,9	102,2
Падавине (mm)	85,9	68,8	60,0	67,5	62,3	57,1
Број облачних дана	3	3	3	4	10	922,8

Табела 6.3.1.6. Климатолошки параметри станице Сремска Митровица за 2017. годину

2017. година						
Параметар	јун	јул	август	септембар	октобар	новембар
Средња вредност Т ваздуха (°C)	22,8	23,1	23,5	16,6	12,1	6,7
Релативна влажност ваздуха (%)	65	67	63	74	77	87
Инсолација (h)	289,7	332,6	316,6	186,8	202,0	90,1
Падавине (mm)	14,8	69,3	25,4	83,7	41,6	36,1
Број облачних дана	2	1	2	7	4	13

Табела 6.3.1.7. Климатолошки параметри станице Сремска Митровица за 2018. годину

2018. година						
Параметар	јун	јул	август	септембар	октобар	новембар
Средња вредност Т ваздуха (°C)	20,9	21,8	23,2	17,8	14,6	7,9
Релативна влажност ваздуха (%)	76	78	71	67	67	80
Инсолација (h)	199,0	241,9	298,7	261,4	190,3	110,1
Падавине (mm)	140,2	99,4	21,0	13,4	12,0	24,2
Број облачних дана	10	6	2	2	5	14

Табела 6.3.1.8. Климатолошки параметри станице Сремска Митровица за 2019. годину

2019. година						
Параметар	јун	јул	август	септембар	октобар	новембар
Средња вредност Т ваздуха (°C)	23,0	22,3	23,3	17,4	13,2	10,8
Релативна влажност ваздуха (%)	74	71	67	73	72	80
Инсолација (h)	277,4	296,6	326,8	208,1	203,8	70,7
Падавине (mm)	108,7	38,3	47,1	43,3	20,5	48,8
Број облачних дана	2	3	0	4	6	14



Просечне годишње вредности посматраних параметара који обухватају: просечну температуру ваздуха (°C), просечну релативну влажност ваздуха (%), укупан број сунчаних сати годишње (h), просечну количину падавина (mm) и укупан број облачних дана сумирани су у Табели 6.3.1.9.

Табела 6.3.1.9. Сумирани годишњи климатски параметри

Посматрани климатски параметри	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Просечна температура ваздуха (°C)	12,4	12,3	12,7	12,6	12,1	12,2	12,9	12,9
Просечна релативна влажност ваздуха (%)	69	75	79	76	78	75	76	73
Укупан број сунчаних сати годишње (h)	2387,1	2088,8	2007,7	2153,8	2019,8	2262,1	2118,6	2155,5
Просечна количина падавина (mm)	452,9	620,3	761,1	625,7	614,7	533,2	646,8	662,8
Укупан број облачних дана	84	108	98	102	96	82	101	96

Према измереним климатским параметрима датим у табелама од 6.3.1.1. до 6.3.1.8., на графицима од 6.3.1.1. до 6.3.1.8. приказана је осцилација температуре, падавина и релативне влажности ваздуха у поменутом временском периоду од јуна до новембра месеца у току којих је вегетативна активност мискантуса посматрана.

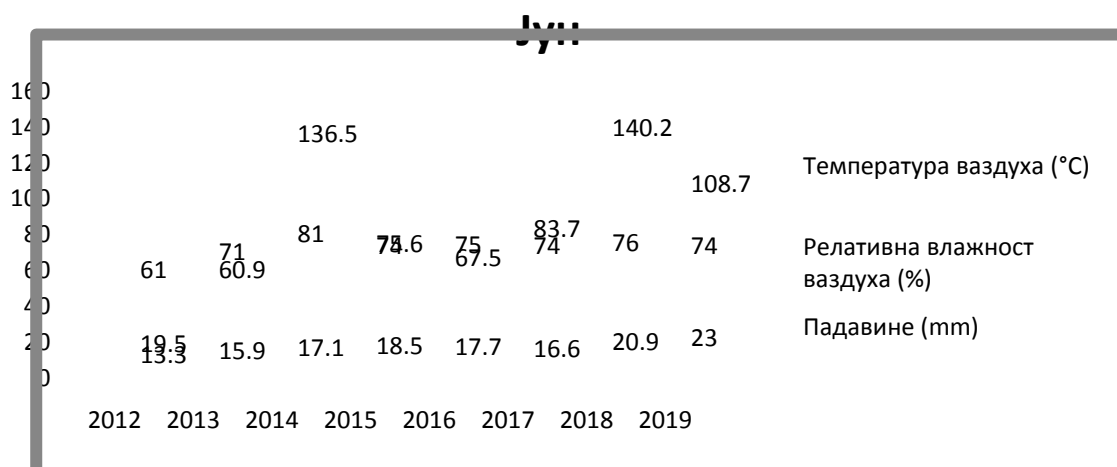


График 6.3.1.1. Приказ температуре (°C), релативне влажности ваздуха (%) и падавина (mm) у току јуна месеца од 2012. до 2019. године

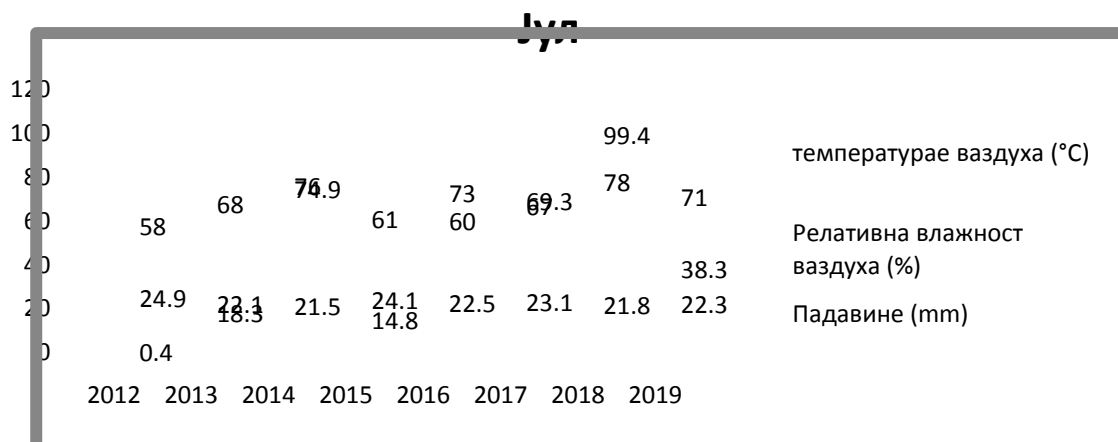


График 6.3.1.2. Приказ температуре (°C), релативне влажности ваздуха (%) и падавина (mm) у току јула месеца од 2012. до 2019. године

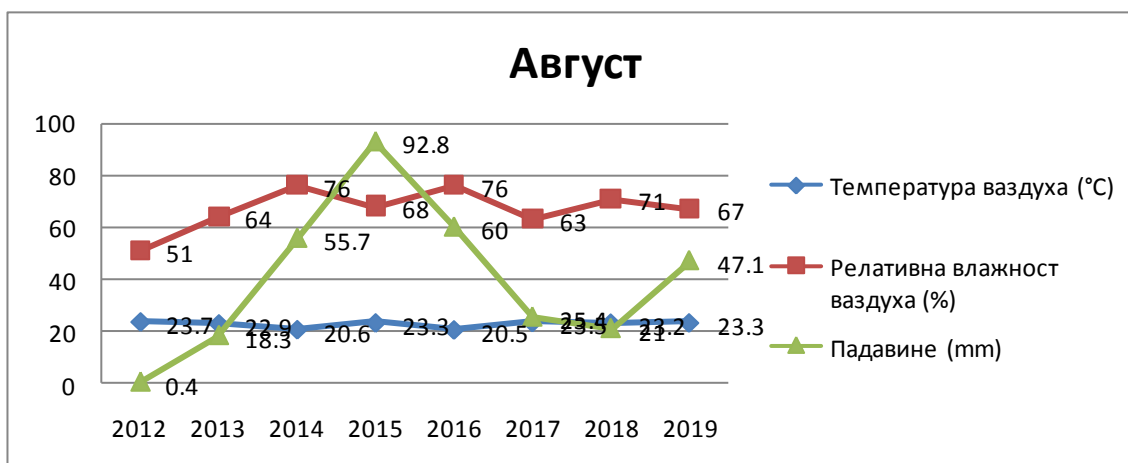


График 6.3.1.3. Приказ температуре (°C), релативне влажности ваздуха (%) и падавина (mm) у току августа месеца од 2012. до 2019. године

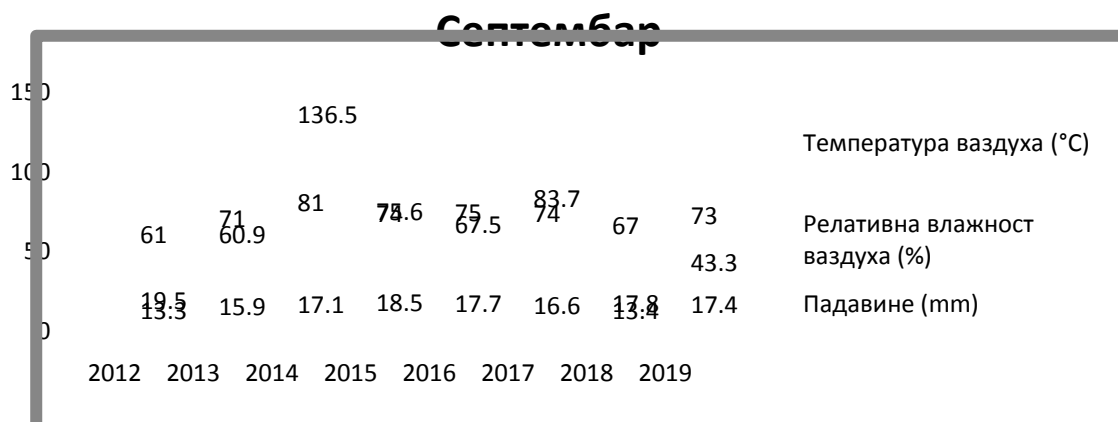


График 6.3.1.4. Приказ температуре (°C), релативне влажности ваздуха (%) и падавина (mm) у току септембра месеца од 2012. до 2019. године

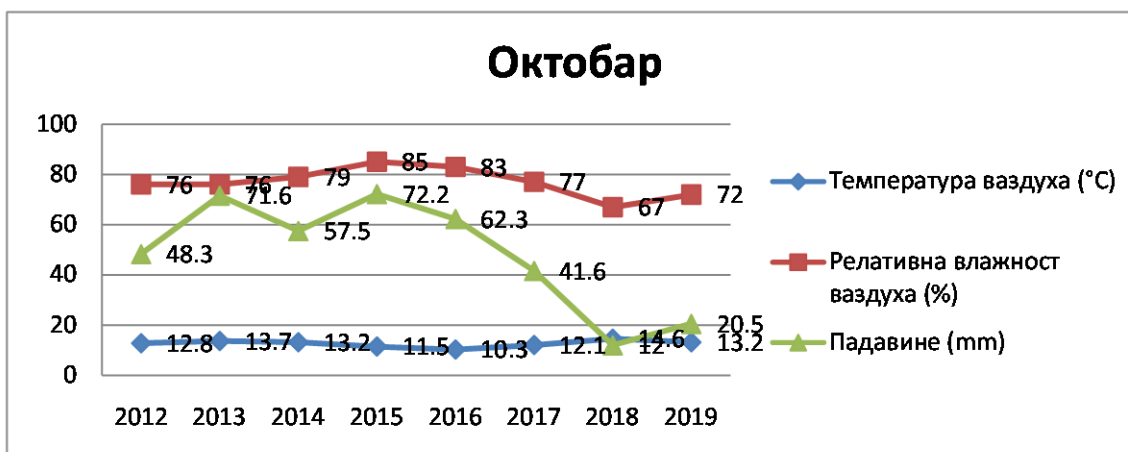


График 6.3.1.5. Приказ температуре (°C), релативне влажности ваздуха (%) и падавина (mm) у току октобра месеца од 2012. до 2019. године

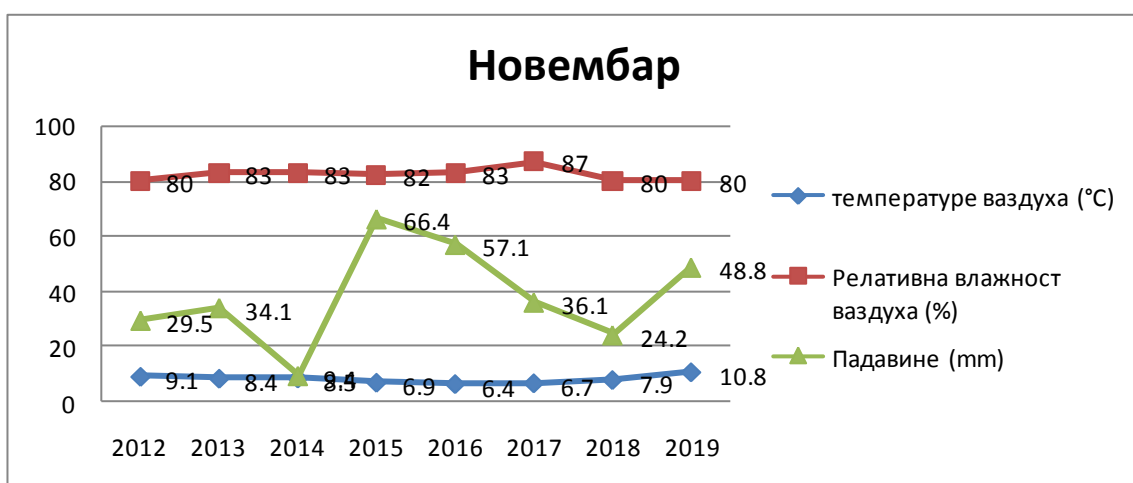


График 6.3.1.6. Приказ температуре (°C), релативне влажности ваздуха (%) и падавина (mm) у току октобра месеца од 2012. до 2019. године

Сви претходно приказани графици (од 6.3.1.1. до 6.3.1.6.) највећа одступања показују у количини падавина које су у 2012. години биле најниже у односу на све остале посматране месеце у свим годинама, док се количина падавина у наредним месецима мењала од године до године, па је тако у септембру 2014. године количина падавина била 100% већа у односу на количину падавина у септембру 2012. године. Сумиране просечне вредности влажности ваздуха, темепретауре ваздуха и броја облачних дана датих у табели 6.3.1.8. и графички приказаних на графику 6.3.1.7. указују готово

уједначене просечне годишње вредности, док се количина падавина значајно разликује од године до године, са највећом количином падавина у 2014. години. Поредићи са просечном годишњом сумом падавина на територији Србије која износи 896 mm [206], просечна годишња количина падавина у најкишовитијој години у претходном периоду за подручје Сремске Митровице износи 761,1 mm.

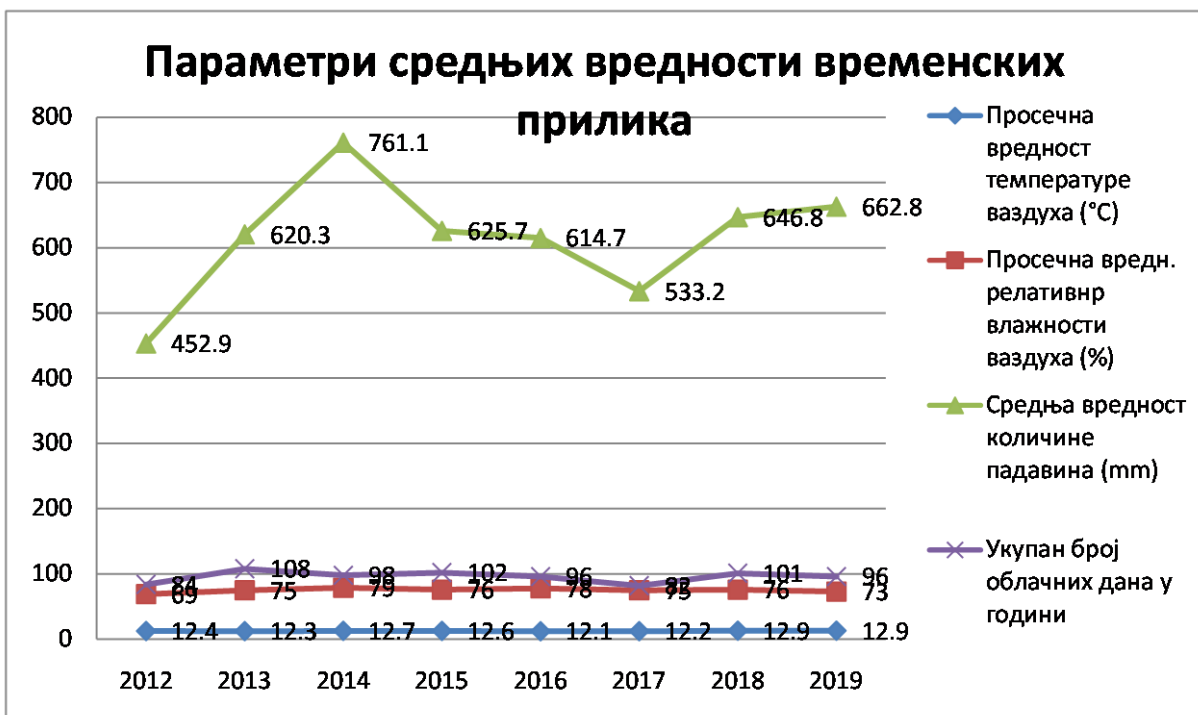


График 6.3.1.7. Упоредни преглед средњих годишњих вредности климатских параметара: температуре ваздуха, влажности ваздуха, количине падавина, броја облачних дана од 2012. до 2019. године

### 6.3.2. Морфолошке особине мискантуса на огледном пољу у Ноћају од 2012. до 2018. године

Након треће године од успостављања огледног поља Факултета за примењену екологију Футура под засадом *Miscanthus x giganteus*-а у селу Ноћај, праћене су морфолошке карактеристике које показују карактеристике раста и развоја мискантуса на датој локацији. У табелама од 6.3.2.1. до 6.3.2.7. приказане су вредности: висине стабла, броја листова, броја зелених и осушених листова, броја листова који старе, дужине и ширине зеленог дела листа, пречника стабла, као и броја изданака. Ове карактеристике су

одабране као најбитнији показатељи морфолошког раста, који се одражавају и на касније приносе. Мерења су вршена од 2012. до 2018. године<sup>1</sup>.

Табела 6.3.2.1. Параметри мискантуса измерени 2012. год. на огледном пољу у Ноћају

<b>Посматрани параметри 2012. године</b>	<b>јун</b>	<b>јул</b>	<b>август</b>	<b>септембар</b>	<b>октобар</b>	<b>новембар</b>
Висина стабла (cm)	300	340	350	350	345	343
Број листова	12	14	16	18	18	16
Број зелених листова	8	9	10	10	-	-
Број осушених листова	2	2	5	6	7	10
Број листова који старе	2	3	3	6	9	10
Дужина зеленог листа (cm)	62	70	73,5	75	-	-
Ширина листа (cm)	2	2,7	2,8	3	3	2,8
Пречник стабла (cm)	0,9	0,9	0,9	1	1	1
Број изданака	10	11	13	14	15	15

Табела 6.3.2.2. Параметри мискантуса измерени 2013. год. на огледном пољу у Ноћају

<b>Посматрани параметри 2013. године</b>	<b>јун</b>	<b>јул</b>	<b>август</b>	<b>септембар</b>	<b>октобар</b>	<b>новембар</b>
Висина стабла (cm)	360	370	375	377	387	387
Број листова	16	17	18	21	21	21
Број зелених листова	14	15	12	13	3	-
Број осушених листова	1	2	6	9	9	10
Број листова који старе	1	3	2	2	10	20
Дужина зеленог листа (cm)	70	74	78	81	79,5	-
Ширина листа (cm)	2,8	2,9	3	3,5	3,5	3,4
Пречник стабла (cm)	0,8	0,8	0,9	1	1,1	1,1
Број изданака	13	14	15	16	16	16

<sup>1</sup> Параметри мискантуса нису мерени у 2019. години због мог породилског одсуства

Табела 6.3.2.3. Параметри мискантуса измерени 2014. год. на огледном пољу у Ноћају

<b>Посматрани параметри 2014. године</b>	<b>јун</b>	<b>јул</b>	<b>август</b>	<b>септембар</b>	<b>октобар</b>	<b>новембар</b>
Висина стабла (cm)	385	390	398	430	430	428
Број листова	15	18	21	21	20	20
Број зелених листова	13	15	17	16	12	2
Број осушених листова	-	1	1	3	4	8
Број листова који старе	2	2	3	2	4	10
Дужина зеленог листа(cm)	72	75,5	78	82	80	78
Ширина листа (cm)	3	3,2	3,1	2,9	2,8	2,8
Пречник стабла (cm)	1,1	1,2	1,3	1,2	1,1	1
Број изданака	11	12	14	17	17	17

Табела 6.3.2.4. Параметри мискантуса измерени 2015. год. на огледном пољу у Ноћају

<b>Посматрани параметри 2015. године</b>	<b>јун</b>	<b>јул</b>	<b>август</b>	<b>септембар</b>	<b>октобар</b>	<b>новембар</b>
Висина стабла (cm)	370	370	373	380	380	380
Број листова	17	19	21	22	22	20
Број зелених листова	14	15	16	13	5	1
Број осушених листова	1	2	2	6	7	5
Број листова који старе	2	2	3	3	10	14
Дужина зеленог листа(cm)	85	87,5	89	80	60	62
Ширина листа (cm)	3,2	3,1	3,1	3,1	2,8	2,5
Пречник стабла (cm)	0,9	1	1,1	1,2	1,2	1,2
Број изданака	12	14	15	18	18	18

Табела 6.3.2.5. Параметри мискантуса измерени 2016. год. на огледном пољу у Ноћају

<b>Посматрани параметри 2016. године</b>	<b>јун</b>	<b>јул</b>	<b>август</b>	<b>септембар</b>	<b>октобар</b>	<b>новембар</b>
Висина стабла (cm)	363	370	372	385	390	390
Број листова	16	19	22	24	23	20
Број зелених листова	14	16	17	10	4	1
Број осушених листова	1	2	2	7	6	6
Број листова који старе	1	1	3	7	13	13
Дужина зеленог листа(cm)	80	85	88,5	88	80	79
Ширина листа (cm)	2,8	2,8	2,9	3	2,9	2,9
Пречник стабла (cm)	1	1,2	1,4	1,3	1,2	1,2
Број изданака	12	15	17	18	18	18

Табела 6.3.2.6. Параметри мискантуса измерени 2017. год. на огледном пољу у Ноћају

Посматрани параметри 2017. године	јун	јул	август	септембар	октобар	новембар
Висина стабла (cm)	360	363	365	365	370	370
Број листова	18	17	16	16	16	15
Број зелених листова	17	15	11	10	-	-
Број осушених листова	-	-	3	4	7	15
Број листова који старе	1	2	2	2	9	15
Дужина зеленог листа(cm)	80,5	85	81	78	-	-
Ширина листа (cm)	2,4	2,8	2,5	2,7	2,9	2,8
Пречник стабла (cm)	1,2	1,2	1,1	1	0,9	0,9
Број изданака	13	13	13	14	14	14

Табела 6.3.2.7. Параметри мискантуса измерени 2018. год. на огледном пољу у Ноћају

Посматрани параметри 2018. године	јун	јул	август	септембар	октобар	новембар
Висина стабла (cm)	380	387	380	380	384	384
Број листова	14	17	18	18	19	17
Број зелених листова	13	14	14	10	-	-
Број осушених листова	1	2	2	5	7	9
Број листова који старе	0	1	2	3	12	8
Дужина зеленог листа(cm)	72	75,5	80	80	-	-
Ширина листа (cm)	3,4	3,4	3,3	3	2,9	2,9
Пречник стабла (cm)	1,2	1,2	1,1	1	1	1
Број изданака	11	13	13	14	14	14

Измерене вредности посматраних параметара показују да се са старошћу мискантуса висина стабљика незнатно повећавала из године у годину, док су остали параметри били условљени неким другим факторима (факторима средине).

### 6.3.3. Поређење резултата морфолошких особина мискантуса и климатских карактеристика праћених у периоду од 2012. до 2019. године

Показатељ приноса и укупне биомасе мискантуса су параметри висине стабљике и укупног броја листова, на које су временске прилике, нарочито количина падавина,

највише утицале. У Табели 6.3.3.1. приказане су сумиране средње вредности посматраних параметара мискантуса за период од 2012. до 2019. године.

Табела 6.3.3.1. Сумиране просечне вредности посматраних параметара мискантуса, температуре ваздуха, падавина и укупних годишњих приноса суве биомасе са обсервиране парцеле у периоду 2012-2019. године

<b>Параметар</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>	<b>2018</b>	<b>2019</b>
Висина стабла (cm)	338	376	410,2	375,5	378,3	365,5	382,5	410
Укупан број листова	15,7	19	19,2	20,2	20,6	16,3	17,2	18
Температура ваздуха (°C)	12,4	12,3	12,7	12,6	12,1	12,2	12,9	12,9
Падавине (mm)	452,9	620,3	761,1	625,7	614,7	533,2	646,8	662,8
Годишњи приноси биомасе (t/ha суве масе)	16,73	18,2	23	21,1	22,3	24	24	24



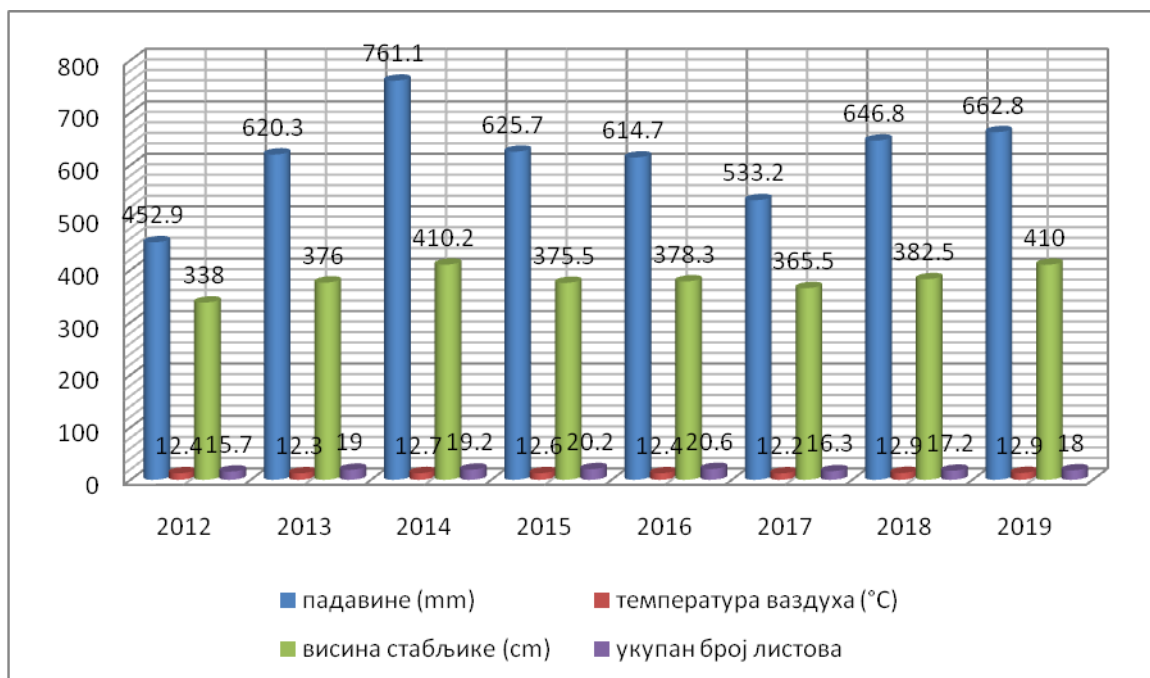


График 6.3.3.1. Однос количине падавина и просечне годишње температуре ваздуха са просечним вредностима висине стабљике и просечног броја лисова на стабљници

Просечна вредност температуре ваздуха на годишњем нивоу за период 2012-2019. на мерној станици Сремска Митровица је  $12,2^{\circ}$  -  $12,9^{\circ}\text{C}$ , што указује да промене у температури ваздуха нису имале значајнији утицај на раст мискантуса. За разлику од температуре ваздуха, евидентан утицај на висину раста стабљика мискантуса бележи количина падавина. Поређењем временских прилика (количине падавина и температуре) са морфолошким параметрима мискантуса (висином стабљике и бројем лисова), приказаним на Графику 6.3.3.1., може се закључити да је забележена највиша висина стабљика мискантуса на огледном пољу у 2014., а затим и у 2019. години, када су забележене и највише количине падавина у посматраном периоду 2012-2019. Сходно податку да је „нулти клон“ чије су саднице засађене на огледном пољу у првој (2009.) години достигао максималну висину од 380 cm, остварена висина у 2014. години од 410 cm показује могућност напредовања ове врсте и изнад очекиваних вредности. Насупрот расту из 2014. године, 2012. и 2017. година означене су као изразито сушна и сушна година, током којих стабљике мискантуса показују нешто нижи раст, који се није значајније одразио на укупне годишње приносе, па је у складу са тим подацима, евидентна способност адаптације ове врсте на климатске промене. Способност

адаптације на недостатак воде показују принси биомасе (Табела 6.3.3.1.) који се остварују и у годинама са мањом количином падавина и без додатног наводњавања. Вредност годишњих приноса биомасе је нешто виша у кишовитијим годинама, што се доводи у везу са већом доступности воде за коренов систем мискантуса, коме погодује висок ниво подземних вода. То се евидентно примећује у 2014. години где је принос био 23 t/ha, што је за 4,8 t/ha виши у односу на претходну 2013. и 1,9 t/ha виши у односу на наредну 2015. годину са просечном количином падавина (График 6.3.3.2.). Осим тога, након 2014. године (6. године од успостављања плантаже) густина раста може се описати као „непроходност проласка између усева“ унутар самог поља. Наредне године опсервираног периода показују приносе преко 22 t/ha са достизањем максималних и стабилних вредности приноса од 24 t/ha које су добијене од 2017. године што указује на способност адаптације мискантуса на промене спољашњих фактора. Достигнуте вредности приноса се могу поредити са приносима оствареним у медитеранским земљама у којима се мискантус узгаја (Шпанија, Португалија, Италија, Грчка).

У циљу испитивања способности адаптације, током 2017. године, жетва је извршена два пута у току вегетационог периода, и то у јулу месецу и у децембру месецу. Висина стабљика у децембру месецу достигла је исту висину као у јулу месецу. Укупна сума пожњевене биомасе у јулу и децембру била је једнака количини биомасе након једне јесење годишње жетве, што као закључак намеће могућност двоструке жетве мискантуса уколико је то потребно спровести за употребу мискантуса у биогасним постројењима.

Презимњавање делова непожњевеног мискантуса показало је способност регенерације и усправљања сушених јесењих стабљика које би зимски снег савио, а које би се у рано пролеће након мраза и снежних дана поново исправљале и биле спремне за жетву у циљу коришћења или једноставно уклањања са поља.

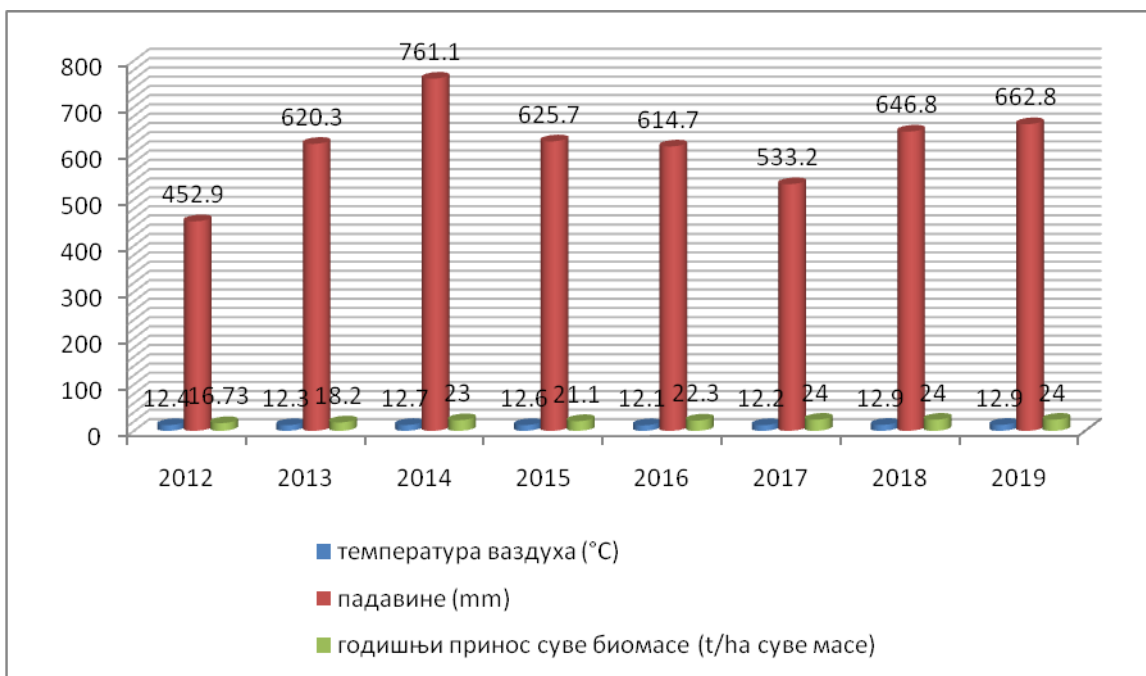


График 6.3.3.2. Однос просечних годишњих вредности количине падавина и температуре ваздуха са годишњим приносом суве биомасе у посматраном периоду 2012-2018.

#### 6.3.4. Климатске промене у Србији и њихов утицај на приносе усева

У циљу моделовања будућих климатских промена, према IV извештају IPCC-а [208] (Intergovernmental Panel on Climate Change – Међувладин панел за климатске промене), коришћени су сценарији *Special Report on Emission Scenarios* (SRES) у оквиру ког постоје четири групе сценарија (A1, A2, B1, B2), као и подгрупе, комбинације сценарија. Издвојена два (A1B и A2) су она која би одговарала за наше поднебље:

- 1) Сценарио A1B представља сценарио који карактеришу брз економски развој, брзо и ефикасно ширење нових технологија и добра сарадња на светском нивоу, па је у складу са тим окарактерисан као „средњи“ сценарио у оквиру кога би концентрација CO<sub>2</sub> на крају 21. века била око 690 ppm. Сходно томе, могло би се очекивати повећање просечне годишње температуре 0,5-0,9°C за период од 2011-2040., док се за период 2041-2070. године просечна температура може повећати за 1,8-2,0°C. Према овом сценарију, промена годишњих падавина би била у интервалу од +5% до -20%.

- 2) Сценарио А2 предвиђа виши самостални развој држава и регионални развој, што представља „високи“ сценарио са емисијом око 850 ppm. Очекивани пораст температуре 0,3-0,7°C предвиђа се за период 2011-2040. и од 1,6-2,0°C за период 2041-2070. Промена режима годишњих падавина би према овом сценарију до краја века била у интервалу од +20% до -20.

Допуна резултата представљених у Другом извештају, показује резултате модела *AquaCrop* у оквиру кога је процењен утицај климатских промена на потребе за водом и укупне приносе шећерне репе до краја 21. века, за сценарије А1В и А2. Резултати за првих тридесет година овог века за подручја Војводине и Централне Србије показују да смањење приноса ни по једном сценарију не треба очекивати, али да се могу очекивати у другом периоду овог века, до 2070. године, посматрајући оба сценарија [7].

Промена температуре до краја века (2071-2100.) у Србији се према А2 сценарију може очекивати за 3,6-4,0°C, а према А1В сценарију 3,2-3,6°C, док се током летње и јесење сезоне може очекивати најинтензивније загревање (преко 4,0°C) [6]. Предстојеће климатске промене до краја века утицаће на повећање броја дана са тропским ноћима (око 20) и повећање броја летњих дана за око 20-30 (по А2 сценарију), што ће се одразити и на смањење броја мразних дана до нивоа ретког појављивања током зимског периода [6]. Као последице климатских промена, дужи сушни периоди чије ће трајање прелазити и више од месец дана, према оба сценарија, могу бити очекивани до краја века, а за преко месец дана повећаће се и дужина вегетационог периода у току друге половине века.

## 7. ЗАКЉУЧНА РАЗМАТРАЊА

### 7.1. Значај гајења мискантуса у Србији

Први варијетети мискантуса у Србији, појавили су се почетком двехиљадитих година и то у приватним расадницима у циљу истраживања неких до тада познатих особина и могућности гајења у климатском поднебљу Србије.

Искуства других земаља али и споредена испитвања у Србији, показала су да би значај гајења мискантуса могао имати важну улогу у смањењу гасова са ефектом стаклене баште, а тиме и у борби против климатских промена.

Спроведена истраживања на локалитетима у Србији, као и на огледном пољу Факултета, показују да се мискантус врло једноставно адаптира на климатске услове наших простора, као и климатске промене које су свеизраженије и на нашим локалитетима. Његовом расту боље погодује висок ниво доступне воде доприносећи на тај начин максималним приносима оствареним на локалитету. Међутим и за време сушних година, приноси биомасе нису драстично смањени, што је још један показатељ способности адаптације мискантуса.

Ефикасно се може користити у процесима екоремедијације обрадивих и маргиналних земљишта, којих у Србији на основу података Агенције за заштиту животне средине РС има 657 (уз додатне 52 локације на којима је извршена санација и рекултивација и додатним локацијама на којима су вршена испитивања). Садњом мискантуса на контаминираним локалитетима може се омогућити „чишћење“ тла фитоекстракцијом полутаната, спречити даље разношење загађивача ветром, водом или ерозијом тла, а уз то се могу остварити и додатне користи које се огледају кроз обезбеђење додатних станишта за неке дивље животиње, естетски уређенији локалитет, али и могућност касније употребе уклоњене биомасе. Засади мискантуса могу се користити и као бафер зона самњујући сливање и продирање вода богатих нитратима (које настају након ђубрења пољопривредних површина) у подземне воде.

Узгајање мискантуса на неким другим локалитетима, може бити корисно и за исхрану домаћих животиња које су показале афинитет према надземним зеленим деловима стабљика и листова.

Због свог лигноцелулозног састава, мискантус је погодан за производњу биогорива, а високи приноси суве биомасе и количине енергије која се може добити по хектару, истичу могућност примене мискантуса као обновљивог извора. Према Стратегији развоја енергетике РС до 2015. са пројекцијама до 2030. године, циљ који је поставила Србија јесте да се до 2020. године из обновљивих извора енергије добија 27% укупне енергије. Употребом биомасе мискантуса у облику брикета, пелета или биогорива, могло би се допринети овом циљу. Истраживања која су показала да је доњу топлотну моћ мискантуса могуће поредити са топлотном моћи огревног дрвета или ложијих угљева, даје још једну предност употреби ове биомасе за снабдевање топлотном енергијом у домаћинствима.

Осим на до сада коришћене начине употребе мискантуса у грађевинским материјалима, истраживање у оквиру докторске дисертације показало је да је уситњену и осушену биомасу мискантуса могуће користити у композитима материјала као конструкциони грађевински материјал (за помоћне објекте) или неконструкциони термоизолациони материјал са коефицијентом топлотне проводљивости од  $0,124111 \text{ W/(mK)}$  што одговара материјалима са добрим термоизолационим карактеристикама. Могућа је примена мискантуса и у конструкционим „лаким“ бетонима уз додатке синтетичких везива.

## **7.2. Потенцијали мискантуса**

Мискантус је у досадашњим истраживањима али и кроз овај рад показао широк спектар потенцијала за будућу употребу, које можемо сврстати у предности и неколико недостатка. Па тако, предности гајења мискантуса потврђене, гајењем и опсервацијом на огледном пољу ФПЕ Футура представљају:

- Вишегодишња биљка, која даје приносе двадесетак година након успостављања плантаже. То ћемо доказати на огледном пољу ФПЕ Футура, након истека процењеног животног века плантаже;

- Високи приноси биомасе које остварује, могу се поредити са приносима других енергетских усева (20-30 t/ha);
- Због способности акумулације азота у ризосфери током зимског периода и поновном употребом истог (акумулираног азота) у наредној вегетативној сезони, није потребно спроводити додатне агротехничке мере након прве године од успостављања плантаже;
- Због тога што припада C4 биљним врстама, али и сопственој способности адаптације која је претходно у раду појашњена, може се узгајати на локалитетима различитих климатских услова, али и прилагођавати климатским променама. Успева најбоље на локалитетима са високим нивоом подземних вода али и на локалитетима која укључују маргинална и контаминирана земљишта;
- Поседује дужу вегетативну сезону с обзиром да своју вегетативну сезону започиње у рано пролеће и завршава у касну јесен при температурама нижим у односу на неке друге сличне врсте (на пример кукуруз);
- Осим ниских трошкова успостављања плантаже и његовог гајења, ниски трошкови су карактеристични и за жетву и складиштење ове врсте;
- Показује способност ремедијације земљишта, где се могућност ревитализације локалитета огледа кроз процес трансформисања полутаната и оспособљавања локалитета за примену у друге сврхе. Успешност овог типа фиторемедијације осим у уклањању полутаната са локалитета, огледа се и у унапређењу биодиверзитета, секвестрацији угљеника, дуготрајној стабилизацији еродираних земљишта и др. Коришћење воде и фитостабилизација полутаната у тлу спречава даље преношење контаминаната ветром, водом или другим облицима ерозије земљишта. Најефикаснија употреба мискантуса у фиторемедијацији контаминираних локалитета забележена је управо у Централној и Југоисточној Европи и централном делу САД-а. С обзиром на способност чврстог укорјењавања, мискантус се може садити на локацијама где се жели постићи заштита од ерозије земљишта, али и смањено преношење прашине на равничарским локалитетима.

- Економска добит може се остварити већ након првих неколико година када се добијена биомаса може употребити за енергетске сврхе, као брикет или пелет, али и биоетанол. Приликом употребе биомасе на овај начин, спаљивање биомасе мискантуса сматра се CO<sub>2</sub> неутралним, јер се сматра да је количина апсорбованог CO<sub>2</sub> од стране биљке у току фазе вегетације једнака количини CO<sub>2</sub> која се ослобађа у фази сагоревања, што значајно утиче на очување животне средине и смањење негативног утицаја на ефекат стаклене баште, а тиме и климатске промене;
- Може се користити у производњи лаких грађевинских материјала, конструкционих или неконструкционих (са добрим термоизолационим особинама), који су еколошки прихватљивији од осталих конвенционалних материјала, а који се након сопственог животног века могу рециклирати.

Осим низа предности које мискантус има, битно је поменути и неколико недостатака који се дањим истраживањем и унапређењем технологије узгајања и коришћења даље могу отклонити:

- Узгајањем мискантуса постоји бојазност од уношења нове врсте, која није довољно позната узгајивачима енергетских биљака, а која се често као таква сматра инвазивном;
- Услед суше и ниског нивоа подземних вода који би потрајао дужи временски период, могући су за нијансу мањи приноси, као и услед превелике концентрације полутаната у тлу на ком се мискантус узгаја;
- За потребе узгајања мискантуса може бити коришћено земљиште намењено за неке друге сврхе (на пример пољопривреду) што није одрживо и препоручљиво. Такав проблем може се избећи коришћењем земљишта друге или треће класе на којима пољопривредна производња није могућа а које се може искористити за узгајање мискантуса са врло ефикасним приносима;
- Постоји несигурност трансформације у задовољавајућу количину енергије.



### 7.3. Препоруке за даља испитивања

Ограничавајући фактори истраживања остављају могућност за даљим испитивањем најбоље мешавине природних материјала, укључујући најбољи састав и масени однос компонената које би уз евентуално унапређење технологије производње материјала могли дати боље карактеристике материјала и класификовати их као праве термоизолационе материјале чији би коефицијент топлотне проводљивости био до предвиђених  $0,06 \text{ W/(mK)}$ . Осим тога, сва даља истраживања на ову тему допринела би унапређењу и промоцији лаких и еколошки прихватљивијих грађевинских материјала који постају све занимљивија тема у грађевинском сектору.

Сама технологија гајења мискантуса је више пута и на више локалитета широм света испитана о чему сведоче и многи доступни радови на ту тему, али је недовољан број испитивања споведен на брдско-планинским пределима, што би могло представљати простор за даља испитивања. Доказано је да мискантус ефикасно врши ремедијацију земљишта оптерећеног тешким металима, али је пожељно спровести још нека испитивања која би показала до ког нивоа апсорбовани полутанти остају у ризосфери, тачније до ког надземног дела биљке би могла допрети.

Увек актуелна и недовољно истражена економска добит би био још један правац даљих истраживања, потребан свима којима је тај аспект неизоставан.

## ЛИТЕРАТУРА

- 1 Greef JM, Deuter M. (1993): Syntaxonomy of *Miscanthus* × *giganteus* Greef et Deu. *Angewandte Botanik*, Vol. 67: 87–90
- 2 Beale C, Long S. (1997): Seasonal dynamics of nutrient accumulation and partitioning in the perennial C4-grasses *Miscanthus* × *giganteus* and *Spartium cynosuroides*, In *Biomass and Bioenergy*, Vol.12, p.419-428
- 3 Heinrich GK. (2007): European biomass statistics 2007: A Statistical Report on the Contribution of Biomass to the Energy System in the EU 27. European Biomass Association
- 4 Obergassel, Wolfgang, et al. (2015): Phoenix from the ashes: an analysis of the Paris Agreement to the United Nations Framework Convention on Climate Change; part 1."
- 5 Change, United Nations Framework Convention on Climate. "The Paris Agreement - main page". UNFCCC.int
- 6 Министарство заштите животне средине РС (2017): Други извештај Републике Србије према Оквирној конвенцији Уједињених нација о промени климе, ISBN: 978-86-87159-15-1
- 7 Програм Уједињених нација за развој у Србији (2015): Загревање усева – како одговорити? Утицај промене климе на српску пољопривреду. ISBN: 978-86-7728-231-8
- 8 Gabriele Lumia (2017): Bio-based insulation materials: an opportunity for the renovation of European residential building stock; Evaluation of Carbon uptake benefits through a dynamic life cycle assessment (DLCA), *Architettura Urbanistica Ingegneria Delle Costruzioni*, Dipartimento di Architettura, Ingegneria delle Costruzioni e Ambiente Costruito, 2017
- 9 Шимуновић Т, Колић Д. (2009): Економске и еколошке карактеристике енергетски учинковите градње. Завод за материјале Грађевинског факултета, Свеучилишта у Загребу.
- 10 Rahman M. A., Parvin F., Hasan M., Hoque M. E.: Introduction to Manufacturing of Natural Fibre-Reinforced Polymer Composites. *Manufacturing of Natural Fibre Reinforced Polymer Composites*. (editors: Salit M.S., Yusoff M.J.N.B., Hoque M. E.) ISBN 978-3-319-07943-1, ISBN 978-3-319-07944-8 (eBook), DOI 10.1007/978-3-319-07944-8.
- 11 Mohanty AK, Misra M, Hinrichsen G. (2000): Biofibres, biodegradable polymers and biocomposites: an overview. *Macromol Mater Eng* 276(1): 1–24
- 12 Wambua P, Ivens J, Verpoest I. (2003): Natural fibers: can they replace glass in fiber reinforced plastics? *Compos Sci Technol* 63(9): 1259–1264 .
- 13 Morandi F, Perrin A, Østergård H. (2016): *Miscanthus* as energy crop: Environmental assessment of a *Miscanthus* biomass production case study in France. *J. Clean. Prod.* 2016, 137, 313–321.
- 14 Parajuli R., Sperling K., Dalgaard T. (2015): Environmental performance of *Miscanthus* as a fuel alternative for district heat production. *Biomass Bioenergy* 2015, 72, 104–116
- 15 Lewandowski I, Kicherer A, Vonier P. (1995): CO<sub>2</sub> -balance for the cultivation and combustion of *Miscanthus*. *Biomass Bioenergy* 1995, 8, 81–90.
- 16 Lewandowski I, Heinz A. (2003): Delayed harvest of *Miscanthus*—Influences on biomass quantity and quality and environmental impacts of energy production. *Eur. J. Agron.* 2003, 19, 45–63.

- 17 Styles D, Jones M.B. (2006): Energy Crops in Ireland: An Assessment of Their Potential Contribution to Sustainable Agriculture, Electricity and Heat Production; EPA: Wexford, Ireland, 2006
- 18 Felten D, Fröba N, Fries J, Emmerling C. (2013): Energy balances and greenhouse gas-mitigation potentials of bioenergy cropping systems (Miscanthus, rapeseed, and maize) based on farming conditions in Western Germany. *Renew. Energy* 2013, 55, 160–174.
- 19 Smeets E.M.W, Lewandowski I.M, Faaij A.P.C. (2009): The economical and environmental performance of miscanthus and switchgrass production and supply chains in a European setting. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2009, 13, 1230–1245.
- 20 Murphy F, Devlin G, McDonnell K. (2013): Miscanthus production and processing in Ireland: An analysis of energy requirements and environmental impacts. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2013, 23, 412–420.
- 21 Clair S.S, Hillier J, Smith P. (2008): Estimating the pre-harvest greenhouse gas costs of energy crop production. *Biomass Bioenergy* 2008, 32, 442–452.
- 22 Styles D, Jones M.B. (2007): Energy crops in Ireland: Quantifying the potential life-cycle greenhouse gas reductions of energy-crop electricity. *Biomass Bioenergy* 2007, 31, 759–772.
- 23 Hamelin L, Jørgensen U, Petersen B.M, Olesen J.E, Wenzel H.(2012): Modelling the carbon and nitrogen balances of direct land use changes from energy crops in Denmark: A consequential life cycle inventory. *GCB Bioenergy* 2012, 4, 889–907.
- 24 Roth, B., Jones, M., Burke, J., Williams, M. (2013): The Effects of Land-Use Change from Grassland to Miscanthus × giganteus on Soil N<sub>2</sub>O Emissions. *Land* 2013, 2, 437–451.
- 25 Zatta A, Clifton-Brown J, Robson P, Hastings A., Monti A. (2014): Land use change from C3 grassland to C4 Miscanthus: Effects on soil carbon content and estimated mitigation benefit after six years. *GCB Bioenergy* 2014, 6, 360–370
- 26 Daraban A.E, Jurcoane S, Voicea I, Voicu G. (2015): Miscanthus Giganteus Biomass for Sustainable Energy in Small Scale Heating Systems. *Agric. Agric. Sci. Procedia* 2015, 6, 538–544.
- 27 Schmidl C, Luisser M, Padouvas E, Lasselsberger L, Rzaca M, Ramirez-Santa Cruz C, Handler M, Peng G, Bauer H, Puxbaum H. (2011): Particulate and gaseous emissions from manually and automatically fired small scale combustion systems. *Atmos. Environ.* 2011, 45, 7443–7454.
- 28 Nsanganwimana F, Pourrut B, Mench M, Douay F. (2014): Suitability of Miscanthus species for managing inorganic and organic contaminated land and restoring ecosystem services. A review. *Journal of Environmental Management* 143 (2014), p. 123-134
- 29 Madurwar M.V, Ralegaonkar R.V, Mandavgane S.A. (2013): Application of agro-waste for sustainable construction materials: A review. *Construction and Building Materials* 38 (2013), p. 872–878
- 30 Khosrow G. (2005): Bamboo as reinforcement in structural concrete elements. *Cem Concr Compos* 2005;27:637–49.
- 31 Li Yan, Mai Yiu-Wing, Ye Lin. (2000): Sisal fibre and its composites: a review of recent developments. *Compos Sci Technol* 2000;60:2037–55.
- 32 Ramakrishna G, Sundararajan T. (2005): Studies on the durability of natural fibres and the effect of corroded fibres on the strength of mortar. *Cem Concr Compos* 2005;27:575–82.
- 33 Taha A, Hansjorg W, Heiko G, Fronz-Josef B, Wei W. (2010): The influence of natural reinforcement fibres on insulation values of earth plaster for straw bale buildings. *Mater Des* 2010;31:4676–85.

- 34 Harvey J, Hutchens M. (1995): Progress in commercial development of *Miscanthus* in England, 8th EC Conference, Biomass for Energy, Environment, Agriculture and Industry, Oxford, 1995, pp. 587–593
- 35 Villaverde J.J, Ligeró P, de Vega A. (2010): *Miscanthus x giganteus* as a source of biobased products through organosolv fractionation: A mini review, *Open Agric. J.* 4, 2010, p. 102–110.
- 36 Villaverde J.J, Ligeró P, de Vega A. (2009): Bleaching *Miscanthus x giganteus* Acetosolv pulps with hydrogen peroxide/acetic acid. Part 1: Behaviour in aqueous alkaline media, *Bioresource Technol.* 100 (2009), p. 4731–4735.
- 37 Cappelletto P, Mongardini F, Barberi B, Sannibale M, Brizzi M, Pignatelli V. (2000): Papermaking pulps from the fibrous fraction of *Miscanthus x Giganteus*, *Ind. Crop. Product.* 11 (2000), p. 205–210.
- 38 Kresten Jensen H.E, Leth M, Lonsmann Iversen J.J.: Growth of *Hedera helix* L. container plants in compost substrates made with *Miscanthus ogiformis* Honda
- 39 Ji-Hoon Chung, Do-Soon Kim (2012): *Miscanthus as a Potential Bioenergy Crop in East Asia*, *J. Crop Sci. Biotech.* 2012 (June) 15 (2), p.65 -77, DOI No. 10.1007/s12892-012-0023-0
- 40 Миловановић, Ј. уредник (2014): Екоремедијација деградираних прстора плантажирањем мискантуса. Аутори: Дражић, Г., Петровић, Н., Аранђеловић, М., Витас, А., Радојевић, У., Спасић, С. Издавач: Факултет за примењену екологију Футура, Универзитет Сингидунум Београд, ISBN 978-86-86859-30-3.
- 41 Liu C, Xiao L, Jiang J, Wang W, Gu E, Song D, Yi Z, Jin Y, Li L. (2013): Biomass properties from different *Miscanthus* species. *FMd and Energy Securily* 001: 10.1002Ifes3.19
- 42 Greef J.M, Deuter M. (1993): Syntaxonomy of *Miscanthus x giganteus* GREEF et DEU. *Angew. Bot.* 67,p. 87-90
- 43 Целетовић Ж, Дражић Г, Гламочлија Ђ, Михаиловић Н. (2007): *Miscanthus* – европска искуства са новим енергетским усевом. Процесна техника и енергетика у пољопривреди, Vol. 11, 2007, стр. 66 – 77.
- 44 Lewandowski I, Clifton-Brown J.C, Andersson B, Basch G, Christian D.G. et al. (2003): Environment and harvest time affects the combustion qualities of *Miscanthus* genotypes. *Agron. J.* 95: p.1274-1280
- 45 Hotz A, Kuhn W, Jodl S. (1996): Screening of different *Miscanthus* cultivars in respect of yield production and usability as a raw material for energy and industry. In P Chartier, GL Ferrero, UM Henius, S Hultberg, J Sachau, M Wiinblad, eds, *Biomass for Energy and the Environment: Proceedings of the Ninth European Bioenergy Conference*, Copenhagen, Denmark, 24-27 June 1996. New York, Pergamon, pp. 523-527
- 46 Jørgensen U. (1997): Genotypic variation in dry matter accumulation and contents of N, K and Cl in *Miscanthus* in Denmark. *Biomass Bioenerg.* 12: p.155-169
- 47 Monti A, Zatta A. (2009): Root distribution and soil moisture retrieval in perennial and annual energy crops in Northern Itali. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, Vol.132, No. 3-4, p.252-259.
- 48 Neukirchen D, Himke M, Lammel J, Czypionka-Krause U, Olf H-W. (1999): Spatial and temporal distribution of the root system and root nutrient content of an established *Miscanthus* crop. *European Jurnal of Agronomy*, Vol.11, No.3-4, p.301-309.
- 49 Riche A.B, Christian D.G. (2001): Estimates of rhizome weight of *Miscanthus* with time and rooting depth comared to swichgrass. *Aspects od Applies Biology*, Vol.65: Biomass and energy crops II (Eds: Bullard MJ, Christian DG, Knight JD, Lainsbury MA and Parker SR, AAB conference, 18-21 December 2001, York, Great Britain), p. 147-152.

- 50 Целетовић Ж, Михаиловић, Н, Гламочлија Ђ, Дражић Г. (2011): Морфолошке особине врсте *Miscanthus x giganteus* у фази ницања. XVI саветовање о биотехнологији са међународним учешћем. Зборник радова, 4-5. Март 2011. Чачак. Агрономски факултет Чачак. Стр. 153 – 158
- 51 Lewandowski I, Clifton-Brown J.C, Scurlock J.M.O, Huisman W. (2000): *Miscanthus*: European experience with a novel energy crop. *Biomass Bioenerg.* 19: p.209-227
- 52 Целетовић Ж. (2012): Мискантус (*Miscanthus x giganteus* Greef et Deu.) – производне одлике и принос биомасе. Задужбина Андрејевић 2012. ISBN 978-86-525-0017-8.
- 53 Dohleman F.G, Heaton E.A, Long S.P. (2010): Perennial grasses as second-generation sustainable feedstocks without conflict with food production. *Handbook of Bioenergy Economics and Policy*, Chapter 3:p. 27-37
- 54 Haines S.A. (2011): Nitrogen and Phosphorus Fertilizer Effects on Establishment of *Miscanthus X giganteus* in North Carolina. Ph.D. thesis. North Carolina State University, North Carolina, USA
- 55 Anderson E, Arundale R, Maughan M, Oladeinde A., Wycislo A, Voigt T. (2011): Growth and agronomy of *Miscanthus x giganteus* for biomass production. *Biofuels* 2:p 167-183
- 56 Heaton E. A, Dohleman F. G, Long S. P. (2009). Seasonal nitrogen dynamics of *Miscanthus x giganteus* and *Panicum l'irgatlum*. *GCB Bioenergy* 1:p. 297-307.
- 57 Lange W. (1992): Die Extraktstoffe von Rienen gras (*Miscanthus sinensis* Anderss.) Ein Vergleich der sommergrünen und der wintertrockenen Pflanze. *Holzforschung*, Vol. 46, No. 4:p. 277-282.
- 58 Целетовић Ж. (2010): Утицај азота и густине засада на морфолошке особине и принос биомасе врсте *Miscanthus x giganteus* Greef et Deu. Докторска дисертација, Пољопривредни факултет Универзитета у Београду. Стр. 122.
- 59 Clifton-Brown J.C, Lewandowski I, Andersson B, Basch G, Christian D.G. et al. (2001): Performance of 15 *Miscanthus* genotypes at five sites in Europe. *Agron. J.* 93:p. 1013-1019
- 60 Dohleman F.D, Long S.P. (2009): More Productive Than Maize in the Midwest: How Does *Miscanthus* Do It? In *Plant Physiology*, Vol 150,2009, p.2104-2115.
- 61 Heaton E.A, Dohleman F.G, Miguez A.F, Juvik J.A, Lozovaya V, Widholm J, Zobotina O.A, Mcisaac G.F, David M.B, Voigt T.B, Boersma N.N, Long S.O. (2010): *Miscanthus*: A promising biomass crop. *Adv. Bot. Res.* 56: 75-137
- 62 Ji-Hoon Chung, Do-Soon Kim (2012): *Miscanthus* as a Potential Bioenergy Crop in East Asia, *J. Crop Sci. Biotech.* 2012 (June) 15 (2), p.65 -77, DOI No. 10.1007/s12892-012-0023-0
- 63 Walsh M, McCarthy S. (1998): *Miscanthus* handbook. In *Biomass for Energy and Industry*, Proceedings of the 10th European Bioenergy Conference, Würzburg, Germany, June 1998. C.A.R.M.E.N. Publishers, Rimpf, pp. 1071-1074
- 64 Clifton-Brown J.C, Lewandowski I. (2000): Overwintering problems of newly established *Miscanthus* plantations can be overcome by identifying genotypes with improved rhizome cold tolerance. *New Phytol.* 148: 287-294
- 65 Beale C.V, Morison J.I.L, Long S.P. (1999): Water use efficiency of C4 perennial grasses in a temperate climate. *Agr. Forest. Meteorol.* 96: p.103-115
- 66 Kang S.W, Lim S.H, Kim D.S. (2010): Survival of *Miscanthus* rhizomes exposed to winter climate and freezing temperature. *Kor. J. Crop Sci.* 55 suppl. 1: p.65

- 67 Calsin B, Finnan J, McCracken A. (2011): Miscanthus best practice guidelines. Teagasc: The Agriculture and Food Development Authority in Ireland
- 68 Zub H.W, Brancourt-Hulmel M. (2010): Agronomic and physiological performances of different species of Miscanthus, a major energy crop. A review. Agronomy and Sustainable Development, Vol. 30, No.2, p.201-214.
- 69 Himken M, Lammel J, Neukirchen D, Czymionka-Krause U, Olfs H-W. (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, p. 117- 126.
- 70 Clifton-Brown J.C, Lewandowski I, Andersson B, Basch G, Christian D.G. et al. (2001): Performance of 15 Miscanthus genotypes at five sites in Europe. Agron. J. 93:p. 1013-1019
- 71 Dražić G, Dželetović Ž, Mihailović N. (2007): *Miscanthus giganteus* as the basis of new bioenergetic fuel: The establishment of a plantation. 13<sup>th</sup> symposium on thermal science and engineering of Serbia, Boog of papers, Sokobanja, 16-19.10.2007
- 72 Bullard M.J, Metcalfe P. (2001): Estimating the energy requirements and CO2 emissions from production of the perennial grasses Miscanthus, switchgrass and reed canary grass. ETSU B/U1/00654/REP
- 73 Hansen J, Kristiansen K. (1997): Short-term in vitro storage of *Miscanthus* × *ogiformis* Honda 'Giganteus' as affected by medium composition, temperature, and photon flux density. In Plant Cell, Tissue and Organ Culture, Vol. 49(3), 1997, p. 161-169
- 74 Fernando E.M, Maria B.V, Stephen P.L, Germán A.B. (2008): Metaanalysis of the effects of management factors on Miscanthus x giganteus growth and biomass production. Agric. Forest Meteorol. 148: p.1280-1292
- 75 Kang S.W, Lim S.H, Kim D.S. (2010): Survival of Miscanthus rhizomes exposed to winter climate and freezing temperature. Kor. J. Crop Sci. 55 suppl. 1: 65
- 76 Eppel-Hotz A, Jodl S, Kuhn W, Marzini K, Münzer W. (1998): Miscanthus: New cultivation and results of research experiments for improving the establishment rate. Biomass for Energy and Industry (Eds. Kopetz H, Weber T, Palz W, Chartier P and Ferrero GL, Proceedings of the 10th European Conference Würzburg, Germany, 8-11 Jun 1998), C.A.R.M.E.N., Rimpfing, Germany, p. 780-783.
- 77 Beale C.V, Long S.P. (1997): Seasonal dynamics of nutrient accumulation and partitioning in the perennial C4-grasses Miscanthus giganteus and Spartina cynosuroides. In Biomass and Bioenergy, Vol.12(6), 1997, p. 419-428
- 78 Christian D.G, Haase E. (2001): Agronomy of Miscanthus. In MB Jones, M Walsh, eds, Miscanthus for Energy and Fibre, James & James Ltd., London, pp. 21-45
- 79 Lewandowski I, Heinz A. (2003): Delayed harvest of miscanthus – influences on biomass quantity and quality and environmental impacts of energy production. European Journal of Agronomy, Vol.19, No. 1: 45-63.
- 80 Husman W, Korleve W.J. (1994): Mechanization of crop establishment, harvest and post harvest conservation of *Miscanthus sinensis* „*Giganteus*“. Industrial Crops and Products, Vol. 56, p. 759 – 760.
- 81 Целетовић Ж, Михаиловић Н, Гламочлија Ђ, Дражић Г, Ђорђевић С, Миловановић М. (2009): Жетва и складиштење *Miscanthus x giganteus* Greef et Deu. Пољопривредна техника, Год. 34, бр.3, стр. 9-16.
- 82 Danalatos N, Archontoulis S, Mitsios I. (2007): Potential growth and biomass productivity of *Miscanthus*×*giganteus* as affected by plant density and N-fertilization in central Greece, In Biomass and Bioenergy Vol. 31, 2007, p. 145-152

- 83 Pyter R, Heaton E, Dohleman F, Voigt T, Long S. (2009): Agronomic experiences with *Miscanthus x giganteus* in Illinois, USA. In JR Mielenz, ed, *Biofuels: Methods and Protocols*. Human Press, NY, pp. 41-52
- 84 Venturi P, Huisman W, Molenaar J. (1998): Mechanization and Costs of Primary Production Chains for *Miscanthus x giganteus* in The Netherlands. *Journal of Agricultural Engineering Research*. Vol. 69, No. 3, p.209-215.
- 85 Nolan A, McDonnell K, McSiurtain M, Carroll JP, Finnan J, Rice B. (2009): Conservation of miscanthus in bale form. *Biosystem Engineering*, Vol. 104, No. 3, p.345 – 352.
- 86 Smeets E.M.W, Lewandowski I.M, Faaij A.P.C. (2009): The economical and environmental performance of miscanthus and switchgrass production and supply chains in a European setting. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 13, No. 6-7, p. 381 - 391
- 87 El Bassam N, Huismann W. (2001): Harvesting and Storage of *Miscanthus*. *Miscanthus for energy and fibre* (Eds MB Jones and M Walsh), James & James, London, p. 86 – 108.
- 88 Consentino S.L, Patane C, Sanzone E, Copani V, Foti S. (2007): Effects of soil water content and nitrogen supply on the productivity of *Miscanthus x giganteus* Greef et Deu. In Mediterranean environment. *Industrial Crops and Products*, Vol. 25, No.1, p.75 -88.
- 89 Defra (2007): Planting and growing *Miscanthus*. *Best Practice Guidelines (for applicants to Defra's Energy Crops Scheme) 2007*, pp18.
- 90 Целетовић Ж, Михаиловић Н, Гламочлија Ђ, Дражић, Г. (2009): Одложена жетва *Miscanthus x giganteus* – утицај на квалитет и количину образоване биомасе. *ВИТЕП – часопис за процесну технику и енергетику у пољопривреди*, Нови Сад, Vol.13 (2), стр. 170-173.
- 91 Clifton-Brown JC, Lewandowski I. (2002): Screening *Miscanthus* genotypes in field trials to optimise biomass yield and quality in southern Germany. *European Journal of Agronomy*, Vol. 16, No. 2: 97–110.
- 92 Huisman W. (1998): Harvesting and Handling of PRG Crops. In: *Production and use of perennial rhizomatous grasses (PRG) in the energy and industrial sector of Europe* (Ed. Lewandowski I), Institut für Pflanzenbau und Grünland, Stuttgart, p. 42–47.
- 93 Venturi P, Huisman W. (1998): Modelling the optimization of primary production costs of miscanthus. In: *Biomass for Energy and Industry* (Eds. Kopetz H, Weber T, Palz W, Chartier P and Ferrero GL, Proceedings of the 10th European Conference, Würzburg, Germany, 8–11 June 1998. Rimpf, Germany), C.A.R.M.E.N., p. 806-809.
- 94 Nolan A, McDonnell K, McSiurtain M, Carroll JP, Finnan J, Rice B (2008): Conservation *Miscanthus sinensis* × *giganteus* in bale form. *Aspects of Applied Biology*, Vol. 90: Biomass and energy crops III (Eds: E. Booth, M. Green, A. Karp, I. Shield, D. Stock and D. Turley, AAB conference, 10-12 December 2008., Sand Hutton, UK), pp. 255-262.
- 95 Venturi P, Huisman W, Molenaar J (1998): Mechanization and Costs of Primary Production Chains for *Miscanthus*×*giganteus* in The Netherlands. *Journal of Agricultural Engineering Research*, Vol. 69, No. 3: 209-215.
- 96 Tack F, Kirschbaum HG (1995): Verfahren und Technik der Lagerung von *Miscanthus*. In: *Symposium Miscanthus - Biomassebereitstellung, energetische und stoffliche Nutzung*, Dresden, 1994. Schriftenreihe „Nachwachsende Rohstoffe". Vol. 4. Münster, Germany: Landwirtschaftsverlag, p. 129-141.
- 97 Boix E , Georgi F, Navard P. (2016). Influence of alkali and Si-based treatments on the physical and chemical characteristics of *Miscanthus* stem fragments. *Industrial Crops and Products* 91, 6-14.
- 98 Мурављов М. (2007): Грађевински материјали. Грађевинска књига. Београд

- 99 Скендеровић Б, Кекановић М. (2011): Грађевински материјали. АГМ књига. Београд.
- 100 United Nation Environment Programme, Environment for development, available at <http://www.unep.org/sbci/AboutSBCI/Background.asp>;
- 101 Asdrubali F, D'Alessandro F, Schiavoni S. (2015): A review of unconventional sustainable building insulation materials. *Sustainable Materials and Technologies*, 4, p. 1–17
- 102 Ecofys (2013): The Next Step in Europe's Climate Action: Setting targets for 2030. Available from: [www.ecofys.com/files/files/greenpeaceecofys-2013-next-step-in-eu-climate-action.pdf](http://www.ecofys.com/files/files/greenpeaceecofys-2013-next-step-in-eu-climate-action.pdf)
- 103 Galbraith C: THE EUROPEAN MARKET FOR THERMAL INSULATION PRODUCTS, [www.ialconsultants.com](http://www.ialconsultants.com)
- 104 Coutts RSP (1992): From forest to factory to fabrication. In: Swamy RN, editor. *Processing 4th international symposium fibre reinforced cement and concrete* London: E&FN spon; 1992. p. 31–47 (RILEM proceedings, 17)
- 105 ASHRAE (2017): ASHRAE Handbook – Fundamentals. Chapter 26: Heat, Air, and Moisture Control In Building Assemblies – Material Properties. [<http://edge.rit.edu/content/C09008/public/2009%20ASHRAE%20Handbook>], 26. jun 2018. god.
- 106 Службени гласник РС: 061/2011 Датум: 19.08.2011, Правилник о енергетској ефикасности РС
- 107 Bouasker M, Belayachi N, Hoxha D, Al-Mukhtar (2014): Physical Characterization of Natural Straw Fibers as Aggregates for Construction Materials Applications. *Materials* 2014, 7, 3034-3048; doi:10.3390/ma7043034
- 108 Collins M, Paulson W.H, Finner M.F, Jorgensen N.A, Keuler C.R. (1987): Moisture and storage effects on dry matter and quality losses of alfalfa in round bales. *Trans. ASAE* 1987, 30, 913–917.
- 109 Rotz C.A, Muck R.E. (1994): Changes in forage quality during harvest and storage. In *Forage Quality, Evaluation, and Utilization*; Fahey, G.C., Ed.; American Society of Agronomy, Inc.: Madison, WI, USA, 1994; pp. 828–868
- 110 Pfundstein M, Gellert R, Spitzner M, Rudolphi A. (2008). *Insulating Materials – Principles, Materials, Applications*. Aumüller Druck Regensburg.
- 111 а) Škrmlantová M. (2012): Koroze a degradace textilních vláken, Available from Internet: [http://www.vscht.cz/met/stranky/vyuka/predmety/koroze\\_materialu\\_pro\\_restauratory/kadm/pdf/3\\_6.pdf](http://www.vscht.cz/met/stranky/vyuka/predmety/koroze_materialu_pro_restauratory/kadm/pdf/3_6.pdf)  
 в) Cristaldi G, Latteri A, Recca G, Cicala G. (2010): Composites Based on Natural Fibre Fabrics. Woven fabric engineering [online]. Charper 17. Sciyo [cited 18. 11. 2010]. Available from Internet: <http://cdn.intechweb.org/pdfs/12253.pdf>
- 112 Asdrubali F, D'Alessandro F, Schiavoni S. (2015): A review of unconventional sustainable building insulation materials. *Sustainable Materials and Technologies*, 4, p. 1–17
- 113 Ricciardi P, Belloni E, Cotana F. (2014): Innovative panels with recycled materials: thermal and acoustic performance and life cycle assessment, *Appl. Energy* 134 (2014) 150–162
- 114 Manohar K, Ramlakhan D, Kochar G, Haldar S. (2005): Biodegradable fibrous thermal insulation, *J. Braz. Soc. Mech. Sci. Eng. XXVIII* (1) (2005) 45–47.
- 115 Garrison J. : The Material Its Deterioration Its Coatings (<https://missions.arizona.edu/sites/default/files/1%20Garrison-Adobe%20Characteristics.pdf>, 27.2.2019.)



- 116 Marchand T. (2009): *The Masons of Djenne*. Bloomington: University of Indiana Press, 2009.
- 117 Collyns D. news.bbc.co.uk. (2009): Peru rebuilds two years on from quake (<http://news.bbc.co.uk/2/hi/americas/8201971.stm>, 27.2.2019. )
- 118 Wright J, "COB" (B, sb3. 1.", *The English Dialect Dictionary, Being the Complete Vocabulary of All Dialect Words Still in Use, or Known to Have Been in Use during the Last Two Hundred Years*. London: H. Frowde, 1898. 676-677
- 119 Goodnow C. (2007): Thinking of building a cob home? Seattle Post-Intelligencer.
- 120 Rarangi T. (2013): *The Register of Historic Places, Historic Areas, Wahi Tapu and Wahi Tapu Areas*. New Zealand Historic Places Trust Pouhere Taonga.
- 121 Природњачко друштво „Натура Балканика“ (2010): Јачање културних и социјалноох веза прекограничних општина Бугарске и Србије – Трн и Димитровград (<http://www.balkanika-crd.org/images/Study%20-%20serbian.pdf>, 27.2.2019.)
- 122 Bouasker M, Belayachi N, Hoxha D, Al-Mukhtar (2014): Physical Characterization of Natural Straw Fibers as Aggregates for Construction Materials Applications. *Materials* 2014, 7, 3034-3048; doi:10.3390/ma7043034
- 123 Ловец В. (2018): Енергетске перформансе традиционалне војвођанске куће од набоја. Универзитет у Београду, Архитектонски факултет. Докторска дисертација, 2018.
- 124 Kalló D, In: D.L. Bish and D.W. Ming, Eds. (2001). *Natural Zeolites: Occurrence, Properties, Applications*, Vol. 45. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, Mineralogical Society of America, 519-550.
- 125 Najimi M, Sobhani J, Ahmadi B, Shekarchi M. (2012). An experimental study on durability properties of concrete containing zeolite as a highly reactive natural pozzolan. *Construction and Building Materials*, Volume 35, 1023-1033.
- 126 Sircar S, Myers A. (2003). *Handbook of Zeolite Science and Technology*. Chapter 22: Gas Separation by Zeolites. Marcel Dekker, Inc.
- 127 Song H, Zheng N, Xue F, Cheng F. (2014). Study on Thermal Insulation Zeolite by Coal Fly Ash. *Journal of Nanomaterials*, Volume 2014 (2014), 1-6.
- 128 Riegler N. (1996). Insulation material. US Patent 5,529,624.
- 129 Matyka M, Kuś J. (2016): Influence of Soil Quality for Yielding and Biometric Features of *Miscanthus x Giganteus*. *Pol. J. Environ. Stud.* Vol. 25, No. 1 (2016), p.213-219, DOI: 10.15244/pjoes/60108
- 130 Robertson A.D, Whitaker J, Morrison R, Davies C.A, Smith P, McNamara N. (2017): A *Miscanthus* plantation can be carbon neutral without increasing soil carbon stocks. *Global Change Biology Bioenergy* 9: 645-661, doi: 10.1111/gcbb.12397
- 131 Lewandowski I, Kicherer A, Vonier P. (1995): CO<sub>2</sub> -balance for the cultivation and combustion of *Miscanthus*. *Biomass Bioenergy* 1995, 8, 81–90.
- 132 Felten D, Fröba N, Fries J, Emmerling C. (2013): Energy balances and greenhouse gas-mitigation potentials of bioenergy cropping systems (*Miscanthus*, rapeseed, and maize) based on farming conditions in Western Germany. *Renew. Energy* 2013, 55, 160–174.

- 133 Schweinle J, Rödl A, Börjesson P, Neary D.G, Langeveld J.W, Berndes G, Cowie A, Ahlgren S, Margni M, Gaudreault C. Assessing the environmental performance of biomass supply chains: methods, results, challenges and limitations
- 134 Marišová E, Milovanović J, Jureková Z, Dražić G, Hauptvogel M, Prčík M, Mariš M, Kotrla M, Fandel P, Ilková Z, Gaduš J, Popović V, Ikanović J, Živanović Lj, Đorđević-Milošević S, Radojević U, Kováčik M, Mandalová K. (2016): AGRO-ENERGY FOR SUSTAINABLE AGRICULTURE AND RURAL DEVELOPMENT Good practices from Slovakia-Serbia bilateral cooperation, ISBN 978-86-86859-53-2, ([https://103f57d4-a-62cb3a1a-sites.googlegroups.com/site/sustainabilityofruralareas/Monograph%20SK-SRB%202016.pdf?attachauth=ANoY7cr-nU-C1y3ChR3FeVnrlSmQy7VVvlgqa79jjoz0DeYyHfZzIE4Skqza5cEHJNcMtVWARWeZ7CC5BYBTHcOumpI2JY9JUydQuIFtP3325zmi5yR6JuRyOdHLMz9IP9fHTi\\_5INvdLZXGMUu5yG6vcMzFEPptliuJrl0-izm7pRFUccTSJguzBEiyt3PJ9yfoymojScmnwGcvQTP1HYWEPIy2Mauz9tqwyzFwbljlfvKjjZobpL3E6gZhinCk4pnsnrLdwCN&attredirects=1](https://103f57d4-a-62cb3a1a-sites.googlegroups.com/site/sustainabilityofruralareas/Monograph%20SK-SRB%202016.pdf?attachauth=ANoY7cr-nU-C1y3ChR3FeVnrlSmQy7VVvlgqa79jjoz0DeYyHfZzIE4Skqza5cEHJNcMtVWARWeZ7CC5BYBTHcOumpI2JY9JUydQuIFtP3325zmi5yR6JuRyOdHLMz9IP9fHTi_5INvdLZXGMUu5yG6vcMzFEPptliuJrl0-izm7pRFUccTSJguzBEiyt3PJ9yfoymojScmnwGcvQTP1HYWEPIy2Mauz9tqwyzFwbljlfvKjjZobpL3E6gZhinCk4pnsnrLdwCN&attredirects=1))
- 135 Dražić G, Milovanović J, Ikanović J, Petrić I. (2017): Influence of fertilization on *Miscanthus × giganteus* (Greef et Deu) yield and biomass traits in three experiments in Serbia, Plant Soil Environ. Vol. 63, 2017, No. 4: 189–193 doi: 10.17221/156/2017-PSE
- 136 Dražić G, Arandelović M, Popović V, Ikanović J. (2015): Ecoremediation – the concept of sustainable management of natural resources in agriculture. Proceedings of XXIII International Conference Ecological Truth, ECOIST 15, 17-20 June, University of Belgrade, Technical Faculty Bor, ISBN 978-86-6305-032-7, p.486-491
- 137 Jelić I, Antonijević D, Dražić G, Aleksić J, Petrić I. (2016): Utilization of *Miscanthus giganteus* as a thermal insulation material. International conference ECOIST 2016 (12-15). University of Belgrade-Technical Faculty Bor, ISBN 978-86-6305-043-3, pp 507-514
- 138 Babović N, Dražić G, Đorđević A. (2012): Mogućnosti korišćenja biomase poreklom od brzorastuće trske *Miscanthus×giganteus*, Hem. Ind. 66 (2): 223–233
- 139 Lynd L.R, Wyman C.E, Gerngross T.U (1999): Biocommodity engineering, Biotechnol. Prog 15 (1999) 777–793
- 140 de Vrije T., de Hass G.G, Tan G.B, Keijsers E.R.P, Claassen P.A.M. (2002): Pretreatment of *Miscanthus* for hydrogen production by Thermotoga elfii, Int. J. Hydrogen Energ. 27 (2002) 1381–1390.
- 141 Stewart J.R, Toma Y, Fernandez F.G, Nishiwaki A, Yamada T, Bollero G. (2009): The ecology and agronomy of *Miscanthus sinensis*, a species important to bioenergy crop development, in its native range in Japan: a review. GCB Bioenergy 1, 126-153
- 142 Fowler P.A, McLauchlin A.R, Hall L.M. (2003): The Potential Industrial Uses of Forage Grasses Including *Miscanthus*. BioComposites Centre, University of Wales, Bangor, UK, p. 37.
- 143 Harvey J, Hutchens M. (1995): Progress in commercial development of *Miscanthus* in England, 8th EC Conference, Biomass for Energy, Environment, Agriculture and Industry, Oxford, 1995, pp. 587–593.
- 144 Acaroglu M, Aksoy A.S. (2005): The cultivation and energy balance of *Miscanthus × giganteus* production in Turkey. Biomass Bioenergy 2005, 29, 42–48
- 145 Alvarez R, Villica R, Liden G. (2006): Biogas production from llama and cow manure at high altitude. Biomass Bioenergy, 30: 66 75

- 146 Coosemans J. (1999): Perpectieven van gemodificeerde compost in de biologische gewasbescherming (Perspectives of modified compost in biological plant production). In:composteren in de toekomst. Vlaco Studiedag, Grimbergen, 17 Jun. Mechelen, Belgium, Pp. 1 6.
- 147 Kresten Jensen H.E, Leth M, Lonsmann Iversen J.J: Growth of Hedera helix L. container plants in compost substrates made with Miscanthus ogiformis Honda
- 148 Nagarajan G, Rajakumar S, Ayyasamy P.M. (2014): Vegetable wastes: An alternative resource for biogas and bio compost production through lab scale process, Int.J.Curr.Microbiol.App.Sci (2014) 3(10) 379-387, ISSN: 2319-7706
- 149 Дражић Г. (2011): Екоремедијације. Факултет за примењену екологију Футура, ИСБН 978-86-86859-22-8.
- 150 Министарство заштите животне средине - Агенција за заштиту животне средине (2018): Извештај о стању животне средине у Републици Србији за 2017. годину ([http://www.sepa.gov.rs/download/Izvestaj\\_2017.pdf](http://www.sepa.gov.rs/download/Izvestaj_2017.pdf))
- 151 Amin A, Naik ATR, Azhar M, Nayak H. (2013) Bioremediation of different waste waters—a review. Cont J Fish Aquat Sci 7(2):7–17
- 152 Ziarati P, Alaedini S. (2014): The phytoremediation technique for cleaning up contaminated soil By Amaranthus sp. Environ. Anal. Toxicol., 4(2).
- 153 Deegan AM, Shaik B, Nolan K, Urell K, Oelgemoeller M, Tobin J, Morrissey A (2011): Treatment options for wastewater effluents from pharmaceutical companies. Int J Environ Sci Technol 8(3):649–666
- 154 Verbruggen N, Hennans C, Henk S. (2009): Molecular mechanisms of metal hyperaccumulation in plants. New Phytologist 181: 759-776.
- 155 Rani K, Dhanial G. (2014): Bioremediation and Biodegradation of Pesticide from Contaminated Soil and Water - A Novel Approach. Int.J.Curr.Microbiol.App.Sci (2014) 3(10) 23-33, ISSN: 2319-7706
- 156 Singh R, Singh P, Sharma R. (2014): Microorganism as a tool of bioremediation technology for cleaning environment: A review. Proc. Int. Acad. Ecol. Environ. Sci., 4(1): 1 6
- 157 Kumar A, Bisht B.S, Joshi V.D, Dhewa T. (2011): Review on bioremediation of polluted environment : A management tool. Int. J. Environ. Sci., 1(6): 0976 4402
- 158 Xie X. M, Zhou F, Zhao H. Y, Lu X. L. (2008): A summary of ecological and energy producing effects of perennial energy grasses. Acta Ecologica Sinica 28: 2329-2342.
- 159 Masarovicova E, Kralova K, Pesko M. (2009): Energetic plants- cost and benefit. Chem. Engin. 16: 263-276.
- 160 Clifton-Brown J. C, Long S. P, Jorgensen U. (2001): Miscanthus productivity. In: Miscanthus for Energy and Fiber. pp. 46-67. Jones. M. B. and Wash, M., Eds. James & James, London.
- 161 Van Loocke A, Twine T. E, Zeri M, Bernacchi C. J. (2012): A regional comparison of water use efficiency for miscanthus, switchgrass, and maize. Agriclit. Forest Meteorol. 164: 82-95.
- 162 Zhuang Q, Zhangcai Q, Chen M. (2013): Biofuel land and water: maize, switchgrass or miscanthus? Environ. Res. Leu. 8: 015020.
- 163 Lin C. H, Lerch R. N, Garrett H. E, George M. E. (2008): Bioremediation of atrazine contaminated soil by forage grasses: transformation, uptake and detoxification. J. Environ. Qual. 37: 196-206.

- 164 Wilkins C. (1997): The uptake of copper, arsenic and zinc by miscanthus environmental implications for use as an energy crop, *Aspects of Applied Biology*, 49. Biomass and Energy Crops, 335-340.
- 165 Fernando A, Duarte P, Oliveira J. F. S. (1996): Bioremoval of heavy metals from soil by *Miscanthus sinensis x giganteus*. *Biomass for Energy and the Environment, Proceedings of the 9th European Bioenergy Conference*, pp. 531-536
- 166 Fernando A. L, Oliveira. J. S. (2004): Effects on growth, productivity, and biomass quality of *Miscanthus x giganteus* of soils contaminated with heavy metals. 2nd World Congress on Biomass for Energy, Industry, and Climate Protection, Rome, Italy, pp. 381-390.
- 167 Techer D, Laval-Gilly P, Henry S, Bennasroune A, Formanek P, MartinezChois C, D'innocenzo M, Muanda F, Dicko A, Rejsek K, Falla J. (2011): Contribution of *Miscanthus x giganteus* root exudates to the biostimulation of PAH degradation: An in vitro study, *Sci. Total Environ.* 409: 4489-4495
- 168 Techer D, D'Innocenzo M, Laval-Gilly P, Henry S, Bennasroune A, Martinez-Chois C, Falla J. (2012): Assessment of *Miscanthus x giganteus* secondary root metabolites for the biostimulation of PAH-utilizing soil bacteria. *Appl. Soil Ecol.* 62: 142-146.
- 169 Iordache V, Mihail D, Neagoe A, Sandu R, Bodescu E, Marinouiu L. (2010): Decision support for the management of agrosystems contaminated with metals: research program and preliminary results. In: *Modern Technologies and Biotechnologies for Environmental Protection*, pp. 83-93. Barbu. C. H. and Sand, C. • Eds. "Lucian Blaga" University of Sibiu.
- 170 Barbu C.H, Pavel B.P, Sand C, Pop M.R. (2009): *Miscanthus sinensis x giganteus*' behavior on soils polluted with heavy metals. *Metal Elements in Environment. Medicine and Biology. Tome 9.* pp. 21-24. Cluj University Press. (Proc. of 9th Int. Symp. of Roumanian Academy - Branch ClujNapoca. 2009. October 16-17. Cluj-Napoca. Romania), available at web: <http://www.rutsolmeg.ro/raport02.pdf>.
- 171 Iordache V, Mihail D, Neagoe A, Sandu R, Bodescu E, Marinouiu L. (2010): Decision support for the management of agrosystems contaminated with metals: research program and preliminary results. In: *Modern Technologies and Biotechnologies for Environmental Protection*, pp. 83-93. Barbu. C. H. and Sand, C. • Eds. "Lucian Blaga" University of Sibiu.
- 172 Barbu C.H. (2010): *Miscanthus sinensis x giganteus* cultivated on soils polluted with heavy metals - a valuable replacement for coal. In: *International Conference on Green Remediation. Conference Summary Papers.* University of Massachusetts Amherst. pp. 2-5.
- 173 Techer D, Martinez-Chois C, Laval-Gilly P, Henry S, Bennarrroune A, D'Innocenzo M, Falla J. (2012): Assessment of *Miscanthus x giganteus* for rhizoremediation of long term PAH contaminated soils. *Appl. Soil Ecol.* 62: 42-49.
- 174 Iqbal M, Bennond A, Lamy I. (2013): Impact of miscanthus cultivation on trace metal availability in contaminated agricultural soils: complementary insights from kinetic extraction and physical fractionation. *Chemosphere* 91: 287-294.
- 175 Lewandowski I, Kicherer A. (1997): Combustion quality of biomass: practical relevance and experiments to modify the biomass quality of *Miscanthus x giganteus*, *Eur. J. Agron.* 6 (1997) 163-177.
- 176 AEBIOM (2007): *European Biomass Statistics, 2007*
- 177 Fischer G, Hizsnyik E, Prieler S, van Velthuisen H. (2007): Assessment of biomass potentials for bio-fuel feedstock production in Europe: Methodology and results, available at: [www.refuel.eu/uploads/media/Refuel-D6-Jul2007-final6.pdf](http://www.refuel.eu/uploads/media/Refuel-D6-Jul2007-final6.pdf)

- 178 Sims R.E.H, Hastings A, Schlamadinger B, Taylor G, Smith P. (2006): Energy crops: Current status and future prospects. *Glob. Chang. Biol.* 2006, 12, 2054–2076.
- 179 Целетовић Ж, Димитријевић В, Стојановић С, Павловић М. (2012): Технолошки параметри брикетирања биомасе мискантуса (Technological parameters of briquetting of *Miscanthus* biomass). *Agric. Eng.* 2012, 631, 81–90
- 180 Parajuli R, Sperling K, Dalgaard T. (2015): Environmental performance of *Miscanthus* as a fuel alternative for district heat production. *Biomass Bioenergy* 2015, 72, 104–116.
- 181 Hoogwijk M.M, Faaij A, Van den Broek R, Berndes G, Gielen D, Turkenburg W. (2003): Exploration of the ranges of the global potential of biomass for energy. *Biomass and Bioenergy* 25: 119-133.
- 182 Fruhwirth P, Liebhard P. (2004): *Miscanthus sinensis* Giganteus. Produktion. Inhaltsstoffe und Verwertung, In: *Miscanthus sinensis* Giganteus. Chinaachilf als nachwachsender Rohstoff, Landliches Forbildungsinstitut und Landwirtschaftskammer Osterreich. pp. 34-38.
- 183 Cai X, Zheng X, Wang D. (2011): Land availability for biofuel production. *Environ. Sci. Technol.* 45: 334-339.
- 184 Gopalokrishnan G, Negri M.C, Salas W. (2012): Modeling biogeochemical impacts of bioenergy buffers with perennial grasses for a row-crop field in Illinois. *GCB Bioenergy* 4: 729-750.
- 185 Qin Z, Zhuang Q, Zhu X, Cai X, Zhang X. (2011): Carbon consequences and agricultural implications of growing biofuel crops on marginal agricultural lands in China. *Environ. Sci. Technol.* 45: 10765-10772.
- 186 Kahle P, Beuch S, Boelcke D, Leinweber P, Schulten H.R. (2001): Cropping of miscanthus in Central Europe: biomass production and influence on nutrients and soil organic matter. *European J. Agron.* 15: 171-184
- 187 Lyubun Y.V, Tychinin D. N. (2007): Phytoremediation in Russia. In: *Methods in Biotechnology*, vol.23: *Phytoremediation: Methods and Reviews*, pp. 423-434.
- 188 Stasiak M. (2007): *Miscanthus* genotypes as a source of biomass and their selected utilizable feature. Proceeding of the 18th EUARPIA Genetic Resources Section Meeting, 23-26 May, 2007. Piestany, Slovak Republic, p. 106.
- 189 Majtkowski W, Majtkowska G, Pilat J, Mikolajczak J. (2009): Grass species from C-4 carbon fixation group: Polish experiment with a novel energy and forage purposes crops, *J. Central European Agric.* 10: 211- 216.
- 190 Fischer G, Prieler S, van Velthuisen H. (2005): Biomass potentials of miscanthus, willow and poplar: results and policy implications for Eastern Europe, Northern and Central Asia. *Biomass Bioenergy.* 28: 119-132
- 191 Rakhmetov D. B. (2007): Role of new cultures in bioenergy. *Scientific Release of National Agricultural University* 116: 13-20 (in Ukrainian).
- 192 Stefanovska T, Lewis E, Pidlisnyuk V. (2011): Evaluation of potential risk for agricultural landscapes from second generation biofuel production in Ukraine: the role of pests. *Aspects of Applied Biology*, 109, *Agricultural Ecology Research: Its Role in Delivering Sustainable Farm Systems*, pp. 165-169.
- 193 Pidlisnyuk V. (2012): Expanding the potential of second generation biofuels crops by using for phytoremediation of sites contaminated by heavy metals: laboratory stage. *Scientific Bulletin of Kremenchuk National University* 74 (4): 104-108 (in Ukrainian).

- 194 USDA (2011): United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service, Plant Materials Program. Planting and managing giant miscanthus as a biomass energy crop, Technical Note no. 4, 33 pp.
- 195 Peric M, Komatina M, Antonijevic D, Bugarski B, Dzeletovic Z. (2018): Life Cycle Impact Assessment of Miscanthus Crop for Sustainable Household Heating in Serbia. *Forests* 2018, 9, 654; doi:10.3390/f9100654
- 196 Stewart J.R, Toma Y, Fernandez F.G, Nishiwaki A, Yamada T, Bollero G. (2009): The ecology and agronomy of *Miscanthus sinensis*, a species important to bioenergy crop development, in its native range in Japan: a review. *GCB Bioenergy* 1, 126e153.
- 197 Fowler P.A, McLauchlin A.R, Hall L.M (2003): The Potential Industrial Uses of Forage Grasses Including *Miscanthus*. BioComposites Centre, University of Wales, Bangor, UK, p. 37.
- 198 Velasquez J.A, Ferrando F, Farriol X, Salvado J. (2003): Binderless fiberboard from steam exploded *Miscanthus sinensis*. *Wood Sci. Technol.* 37, 269-278.
- 199 Park H.J, Oh S.W, Wen M.Y. (2012): Manufacture and properties of *Miscanthus* wood particle composite boards. *J. Wood Sci.* 58, 459-464
- 200 ValBiom (2009): Les utilisations du miscanthus. Louvain-la-Neuve, Belgium, p. 10
- 201 Bullard M.J, Nixon P. (1999): Production economics and market assessment for *Miscanthus*. In: MAFF, *Miscanthus Agronomy (for Fuel and Industrial Uses)*: Scientific Report NF0403, p. 60
- 202 Костић А. (2018): Испитивање новог термоизолационог материјала на бази биљних влакана *Miscanthus X giganteus* са кречом и електрофилтарским пепелом. Мастер рад. Факултет за примењену екологију Футура 2018.
- 203 Радоњанин В, Малешев М. : Грађевински материјали и склопови. Обука за полагање стручног испита за област енергетске ефикасности зграда, слајд 7 ([http://www.ingkomora.org.rs/strucniispiti/download/ee/TP6-1\\_Gradjevinski\\_materijali\\_i\\_sklopovi.pdf](http://www.ingkomora.org.rs/strucniispiti/download/ee/TP6-1_Gradjevinski_materijali_i_sklopovi.pdf), 28.2.2019.) Инжењерска комора Србије, Факултет техничких наука (Департман за грађевинарство и геодезију, Нови Сад).
- 204 „Сл. гласник РС“, бр. 58/2012, 74/2015 и 82/2015: Правилник о условима и нормативима за пројектовање стамбених зграда и станова
- 205 Šekler I, Vještica S, Janković V, Stefanović S, Ristić V. (2021): *MISCANTHUS X GIGANTEUS* AS A BUILDING MATERIAL - LIGHTWEIGHT CONCRETE. *HemInd.* DOI: <https://doi.org/10.2298/HEMIND201116013S>
- 206 Министарство пољопривреде и заштите животне средине РС (2015): Први национални план адаптације на измењене климатске услове за Републику Србију - нацрт
- 207 Агенција за заштиту животне средине РС, Климатолошки годишњаци (2012, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019), доступни на: [http://www.hidmet.gov.rs/ciril/meteorologija/klimatologija\\_godisnjaci.php](http://www.hidmet.gov.rs/ciril/meteorologija/klimatologija_godisnjaci.php)
- 208 Intergovernmental Panel on Climate Change (2008): *Climate Change 2007: Synthesis Report*, ISBN 92-9169-122-4, доступно на [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ar4\\_syr\\_full\\_report.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ar4_syr_full_report.pdf)
- 209 Farrell, A.D., J.C Clifton-Brown, I. Lewandowski and M.B. Jones (2006): Genotypic variation in cold tolerance influences the yield of *Miscanthus*. *Annals of Applied Biology*, 149: 337–345

- 210 Asdrubali, F., D'Alessandro, F., Schiavoni, S., Mencarelli, N. (2015): Sound absorption properties of reed, Proceedings of the 22nd International Congress on Sound and Vibration, Florence, Italy, July 12–16 2015.
- 211 Oldham, D.J., Egan, C., Cookson, R. (2011): Sustainable acoustic absorbers from the biomass, *Appl. Acoust.* 72, p. 350–363, <http://dx.doi.org/10.1016/j.apacoust.2010.12.009>
- 212 Manohar, K., Ramlakhan, D., Kochar, G., Haldar, S. (2005): Biodegradable fibrous thermal insulation, *J. Braz. Soc. Mech. Sci. Eng.* XXVIII (1) (2005) p. 45–47.
- 213 Manohar, K. (2012): Experimental investigation of building thermal insulation from agricultural by-products, *Br. J. Appl. Sci. Technol.* 2 (3) (2012) p. 227–239.
- 214 Luamkanchanaphan, T., Chotikaprakhan, S., Jarusombati, S. (2012): A study of physical, mechanical and thermal properties for thermal insulation from narrow-leaved cattail fibers, *APCBEE Procedia* 1 (2012) 46–52.
- 215 Pinto, J., Cruz, D., Paiva, A., Pereira, S., Tavares, P., Fernandes, L., Varum, H. (2012): Characterization of corn cob as a possible raw building material, *Constr. Build. Mater.* 34 (2012) 28–33.
- 216 Pavia, A., Pereira, S., Sá, A., Cruz, D., Varum, H., Pinto, J. (2012): A contribution to the thermal insulation performance characterization of corn cob particleboards, *Energy Build.* 45 (2012) 274–279.
- 217 Zhou, X., Zheng, F., Li, H., Lu, C. (2010): An environment-friendly thermal insulation material from cotton stalk fibers, *Energy Build.* 42 (2010) 1070–1074.
- 218 Goodhew, S., Griffiths R. (2005): Sustainable earth walls to meet the building regulations, *Energy Build.* 37 (2005) 451–459, <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2004.08.005>
- 219 Yarbrough, D.W., Wikes, K.E., Olivier, P.A., Graves, R.S., Vohra, A. (2005): Apparent thermal conductivity data and related information for rice hulls and crushed pecan shells, *Therm. Cond.* 27 (2005) 222–230.
- 220 Singh, K., Saxena, N.S., Sreekala M.S., Thomas S. (2003): Temperature dependence of the thermal conductivity and thermal diffusivity of treated oil-palm-fiber-reinforced phenolformaldehyde composites, *J. Appl. Polym. Sci.* 89 (2003) 3458–3463.
- 221 Chikhi, M., Agoudjil, B., Boudenne, A., Gherabli, A. (2013): Experimental investigation of new biocomposite with low cost for thermal insulation, *Energy Build.* 66 (2013) 267–273.