

УЛОГА ВИШЕГОДИШЊИХ УСЕВА У ОДРЖИВОМ РАЗВОЈУ

THE ROLE OF PERENNIAL GRASSES IN SUSTAINABLE DEVELOPMENT

Никола Милановић¹
Снежана Брајевић^{1a}
Александар Симић²
Гордана Гајић³
Жељко Џелетовић^{1b}

Прегледни рад
DOI: 10.5937/UIB25202M

Апстракт

Протеклих година људско друштво се суочава са све израженијим проблемима глобалног загревања. Због тога су вишегодишњи травни енергетски усеви друге генерације све чешће у истраживачком фокусу. Очекује се да би њихова употреба могла значајно да допринесе остваривању циљева смањења емисије гасова стаклене баште, одрживом развоју и енергетској ефикасности. У нашем прегледу разматрамо потенцијал најинтересантнијих вишегодишњих травних енергетских усева друге генерације за подручје југоисточне Европе (*Phalaris arundinacea* L.; *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steudel; *Miscanthus × giganteus* Greef et Deu.; *Arundo donax* L. и *Panicum virgatum* L.). Ове биљке су познате по високој производњи биомасе (просечно 6-25 t ha⁻¹), ниским трошковима производње и свестраној употреби. Поред сагоревања (просечно 14-18 MJ kg⁻¹), биомаса се користи и за производњу биоенергије, биогорива, хемикалија, биополимера, биокомпозита или као грађевински материјал. Вишегодишњи енергетски усеви омогућавају одрживу производњу биоенергије уз ниже емитовања гасова стаклене баште у поређењу са фосилним горивима, јер се део емитованог CO₂ враћа у атмосферу, из које је претходно фиксиран фотосинтезом. Ове биљке су обећавајућа опција за производњу биогорива, због једноставне агротехнике и ефикасног коришћења воде и азота. Такође позитивна страна ових усева је и њихова могућност гајења на мање квалитетним земљиштима (маргиналним) и деградираним земљишним површинама.

¹ Институт за примену нуклеарне енергије, Универзитет у Београду, Београд, Србија, 1_ORCID: 0000-0001-8566-4102, 1a_ORCID: 0009-0008-7964-8235, 1b_ORCID: 0009-0008-7964-8235

² Пољопривредни факултет, Универзитет у Београду, Београд, Србија ORCID: 0009-0008-7964-8235

³ Институт за биолошка истраживања "Синиша Станковић", Институт од националног значаја за Републику Србију, Универзитет у Београду, Београд, Србија, ORCID: 0009-0008-7964-8235

Кључне речи: вишегодишње травни усеви, биоенергија, енергетска ефикасност

Abstract

In recent years, the world's population has been dealing with the increasing challenges of global warming. For this reason, second-generation perennial grass energy crops are increasingly becoming the focus of research. It is expected that the utilisation of these plants can make a significant contribution to achieving the goals of reducing greenhouse gas emissions, promoting sustainable development and improving energy efficiency. In our review, we look at the potential of the most interesting second-generation perennial energy grasses in the south-eastern (*Phalaris arundinacea* L.; *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steude; *Miscanthus × giganteus* Greef et Deu.; *Arundo donax* L.; *Panicum virgatum* L.). These plants are notable for high biomass production (average 6-25 t ha⁻¹), low costs, and versatile utilization. In addition to combustion (average 14-18 MJ kg⁻¹), biomass is also used for the production of bioenergy, biofuels, chemicals, biopolymers, biocomposites or as a building material. Perennial energy crops provide sustainable energy production with lower emissions of greenhouse gases than fossil fuels, as part of the CO₂ released is returned to the atmosphere from which it was originally absorbed through photosynthesis. These plants are a promising option for biofuel production due to their simple agrotechnology and efficient use of water and nitrogen. Growth possibility on poor quality and degraded soils is also a positive aspect of these plants.

Key words: *perennial grass crops, bioenergy, energy efficiency*

УВОД

Раст економије и људске популације са собом носи потребу за сталном потрагом ка новим изворима енергије. Услед високе цене и ограничености фосилних горива, неопходна је употреба биогених извора енергије. Повећана експлоатација обновљивих извора енергије очекује се да ће допринети ублажавању климатских промена и побољшању енергетске сигурности [1]. Употреба биоенергије расла је просечно 7% годишње између 2010. и 2021. године, а очекује се да ће тај тренд наставити да расте [2]. Проблем је што већи део биомасе која се тренутно користи за биоенергију и даље потиче од уљаних, шећерних или скробних усева намењених исхрани, што директно ствара негативан утицај на тржиште хране. Прва генерација биогорива захтева велике количине фертилизације азотом, што повећава трошкове производње [3].

Један од могућих начина унапређења производње биогорива је гајење непрехрамбених усева на маргиналним и загађеним земљишним површинама. Узгој вишегодишњих ризоматозних трава, у поређењу са гајењем прехрамбених усева или типичних једногодишњих култура, представља одрживу алтернативу која може смањити конкуренцију у погледу коришћења земљишта за производњу хране, као и њихове негативне ефекте на производњу хране, емисију гасова стаклене баште и губитак биодиверзитета [4,5]. Очекује се да ће непрехрамбени енергетски усеви, као што су вишегодишњи травни енергетски усева друге генерације имати све значајнију улогу у производњи биоенергије. Стога је одабир и селекција ових усева важан приоритет за производњу биомасе [6]. Вишегодишњи биоенергетски усеви имају могућност складиштења хранљивих материја на крају вегетационе сезоне у подземним органима и њихово поновно коришћење на почетку нове. Ово кружење материје је посебно ефикасно за азот, који је највише повезан са ефектом стаклене баште у биљној производњи [3]. Поред ниских захтева за инпутима, вишегодишњи травни енергетски усеви осим у години заснивања не захтевају обраду земљишта, па је њихово гајење повезано са веома ниским ефектом стаклене баште уз побољшање плодности земљишта и биодиверзитета.

У нашем прегледу разматрамо потенцијал најинтересантнијих вишегодишњих травних енергетских усева друге генерације за подручје југоисточне Европе (*Phalaris arundinacea* L.; *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steudel; *Miscanthus × giganteus* Greef et Deu.; *Arundo donax* L. i *Panicum virgatum* L.). Ове биљке су познате по високој производњи биомасе (просечно 6-25 t ha⁻¹), ниским трошковима производње и свестраној употреби. Главне особине које дефинишу ове биоенергетске културе су висока продуктивност биомасе, vigor, рани раст и способност поновног избијања након кошења [7]. Све ове врсте карактерише висок садржај лигнина и целулозе, који се поред сагоревања (просечно 14-18 MJ kg⁻¹) могу користити за производњу биоенергије, биогорива, хемикалија, биополимера, биокомпозита или као грађевински материјал [8].

Циљ нашег прегледа је да се сагледа улога и потенцијал најинтересантнијих вишегодишњих травних енергетских усева друге генерације за подручје југоисточне Европе у одрживом развоју.

Медитеранска трска (*Arundo donax* L.)

Медитеранска трска (слика 1) је вишегодишња травна врста која се јавља као самоникла биљка на широком простору од Медитеранског подручја до Индије, углавном расте на забареним земљиштима. Има C3 фотосинтетски метаболизам, али је степен фотосинтезе и продуктивност у рангу са C4 биљкама [9].

Међу различитим вишегодишњим гајеним културама, *A. donax* последњих година изазва велико интересовање због своје адаптивбилности на многе еколошке стресове, као што су загађење потенцијално токсичним елементима [10], заслањеност супстрата [11], дуготрајне суше [12]. Има позитиван утицај на акумулацију оранског угљеника у земљишту, на структуру земљишта и чување воде [13]. Није осетљив на квалитет воде, тако да самоникло расте и може се гајити поред канала са отпадним водама или заливати непречишћеном водом. У условима суше, ова врста може смањити транспирацију и ефикасно управљати водом, што јој омогућава да опстане у неповољним агроеколошким условима.



Слика 1. Медитеранска трска (*Arundo donax*)

Медитеранска трска се може успешно гајити као вишегодишња врста, јер је опстанак усева преко зиме висок. Поред тога, одликује се брзим растом и високим приносом [14] и обезбеђује лигноцелулозну биомасу подесну за биоенергију, биогорива, хемикалије, биополимере, биокомпозите и грађевинске материјале [15]. Принос биомасе је врло варијабилан и зависи од климе, године гајења и управљања усевам и варира од 1,3 до 45,2 t ha⁻¹, с просечним приносом од 30 t ha⁻¹ [16].

Такође, однос између произведене енергије и енергије уложене у производњи медитеранске трске је доста висок. Процењено је да се са 1 ха медитеранске трске може произвести нето енергија од око 637 GJ/ha, што би могло да замени 14 т нафте или 20 т угља за сваку годину узгоја, што доприноси заштити животне средине коришћењем обновљивих извора енергије [17].

Еколошки гледано, медитеранска трска може деловати као рани пионир у сукцесији, будући да је добро прилагођена за колонизацију рипаријалних станишта која су често поремећена поплавама, али исто тако може бити доминантна у каснијим стадијумима сукцесије [18].

Мискантус (*Miscanthus × giganteus* Greef et Deu)

Miscanthus × giganteus (слика 2) представља природни хибрид, *Miscanthus sacchariflorus* (Maxim.) Benth., који је диплоид *Miscanthus sinensis* Anderss., који је тетраплоид (Nishiwaki et al., 2011). Као последица своје триплоидности *M. × giganteus* је стерилан и не може образовати фертилно семе. Мискантус је пореклом из Азије где се дуго користио за испашу и као грађевински материјал, а крајем 20. века је интродукован у Европу, Јужну и Северну Америку.

Мискантус је вишегодишња биљка, биљке имају добро развијен коренов систем, што им омогућава да ефикасно користе влагу са већих дубина [19]. Стабло мискантуса је усправно, пречника око 10 мм, испуњено паренхимом и висине од 2 м до преко 3,5 м, са високим садржајем лигнина, целулозе и шећера [20].

Мискантус има C4 фотосинтетички метаболизам што доприноси његовој продуктивности, иако је биљка топлијих крајева [21] задржава ову особину и у нашим агроеколошким условима. Једна од најважнијих особина ове врсте је ефикасна редистрибуција елемената из надземних делова у ризоме и обрнуто, у зависности од вегетационе сезоне [22]. Рециклажа есенцијалних елемената не само да обезбеђује адекватну залиху нутријената за почетни раст наредне године, већ и редукује потребу за додатном фертилизацијом што вишеструко доприноси заштити животне средине.

Мискантус одликује висок принос, отпорност на сушу, отпорност на хладноћу, недостатак хранљивих материја, високе концентрације потенцијално токсичних елемената (ПТЕ) и климатска прилагодљивост [23]. У идеалним условима процењен животни век плантажа је 20-25 година, а лигно-целулозна биомаса мискантуса је најбоља алтернатива кукурузу за производњу биогаза. Биомаса се може конвертовати различитим био- и термохемијским поступцима (пиролиза ензимска сахарификација, ферментација) за производњу биометана, биоетанола и различитих високоенергетских горива и гасова [24].

Један од најзначајнији фактора код одређивања потенцијала енергетске сировине као чврстог горива су принос суве материје и топлотна вредност горива [25] [26], што мискантус са просечним приносом од 8-24 t ha⁻¹ и доњом топлотном вредношћу од 17,5 MJ kg⁻¹ суве материје (СМ) чини веома перспективним за производњу пелета или брикета [26].



Слика 2. Поље мискантуса (*Miscanthus x giganteus*)

Обична трска (*Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steudel)

Обична трска (слика 3) је једна од најраспрострањенијих цветница на свету, обухвата првенствено Европу и Азију, али је распрострањена и у Северној Америци и различитим регионима Јужне Америке и Африке [27]. Везана је за влажна станишта на напуштеним пољима, обалама река, мочвара, бара и ритова образујући високо (2-6 м) и густо станиште [28]. То је робусна хелофитна и високо продуктивна трава, са екстензивним системом ризома и столона који су укључени у њено вегетативно размножавање. Широка космополитска природа *P. australis* проистиче из њених специфичних екофизиолошких стратегија, широких еколошких амплитуда заснованих на високој фенотипској пластичности и великом еволуционом потенцијалу [30]. Познато је да врста има широку еколошку валенцу према бројним факторима, као што су надморска висина, температура, салинитет, садржај нутритијената и загађење ПТЕ [30].

Ову биљку су људи користили као грађевински материјал хиљадама година [31]. За сада, само се у Јапану узгаја као травни усев за силажне компоненте у смешама за говеда [32]. Технологија гајења обичне трске углавном се своди на експлоатацију њених постојећих природних састојина [28]. Често се користи у процесу пречишћавања комуналних и индустријских отпадних вода методом мокрих поља, где има примарни значај [33], одлично подноси органско оптерећење и има изузетне могућности усвајања различитих токсичних материја присутних у отпадним водама [34].

Обична трска има брз надземни и подземни раст, са пријављеним стопама раста до 4 цм/дан [28], брзо образује моноспецифични биопокривач, искључујући друге конкурентске биљне врсте из екосистема. Принос суве биомасе обичне трске се креће у широком опсегу од 3,8-36,0 t ha⁻¹, при чему је локација кључни фактор за висину приноса биомасе [35]. За енергетско коришћење лети пожњевена зелена маса се користи за производњу биогаса, а трска која се жање зими користи се за директно сагоревање [28].



Слика 3. Обична трска (*Phragmites australis*)
<https://warccaps.usgs.gov/PlantID/Species/Details/4042>

Трстика (*Phalaris arundinacea* L.)

Трстика (слика 4) је вишегодишња, брзорастућа трава, са СЗ фотосинтетским метаболизмом [36]. Трстика је пореклом са подручје Евроазије и умереног климатског појаса Северне Америке [37]. Успева у различитим агроклиматским условима и због тога је погодна за гајење на земљиштима слабијег квалитета која не одговарају другим врстама, као и на напуштеним индустријским земљиштима [38] и одлагалиштима пепела [39]. Трстику одликује врло рани пролећни пораст, вигор, брзо вегетативно размножавање и висока физиолошка толеранција на агроеколошке услове [38]. Максималан принос достиже током лета и током друге вегетативне сезоне [40]. Површине под трстиком показују тренд раста у последње време, посебно у земљама северне Европе [36]. Свежа биомаса се користи за сточну исхрану, а зрела лигноцелулозну биомасу је подесна за добијање целулозе (као сировина у многим гранама индустрије) или као биогориво због своје топлотне вредности 16,3 MJ kg⁻¹ СМ. Као биоенергетски усев, трстика продукује принос суве надземне биомасе који се креће од 5 до 9 t ha⁻¹ [36]. На принос биомасе велики утицај имају услови успевања, а најбољи принос постиже се у кишним годинама, на земљиштима са високим нивоом подземне воде.

Принос биомасе у највећој мери зависи од раста током претходне године [36], датума и методе жетве и нивоа фертילизације [41]. Уз одговарајућу агротехнику могу се остварити и две жетве годишње [36].



Слика 4. Трстика (*Phalaris arundinacea*)
<https://wmswcd.org/species/invasive-reed-canarygrass/>

Мухар (*Panicum Virgatum* L.)

Мухар или амерички дивљи просо (Слика 5) је вишегодишња, брзорастућа Ц4 трава пореклом из централних и источних делова Сједињених Америчких Држава. Код *Panicum virgatum* постоји значајна генотипска и фенотипска варијабилност [42] [43], што доприноси широкој адаптацији врсте на различите географске и еколошке услове [44]. Постоје две врсте екотипова: екотипови из виших предела и екотипови из нижих предела. Екотипови из виших предела су нижег хабитуса и имају мање захтеве за водом и азотом у поређењу са екотиповима из нижих предела [45]. У Сједињеним Државама, *Panicum virgatum* је важна сточна култура на пашњацима, а последњих година је у све чешћем фокусу истраживача због великог економског потенцијала у производњи биогорива, али и због своје способности да побољша квалитет земљишта, повећа садржај органског угљеника и прилагоди се различитим агроеколошким условима.[46]. Као биоенергетски усељ, *Panicum virgatum* продукује принос суве надземне биомасе који се креће од 9 до 18 t ha⁻¹ и са доњом топлотном границом од 17 MJ kg⁻¹ CM.

Опасност од гајења дивљег проса и других култура за производњу биогорива у монокултури је њихова потенцијална инвазивност. Семе многих инвазивних врста остаје дормантно оцењено, све док се не промене агроеколошки услови који погодују њиховом расту и каснијем ширењу [48].

Поред тога, многе врсте за производњу биогорива деле карактеристике са инвазивним врстама, укључујући фенолошке особине попут вишегодишњег животног циклуса, брзог пролећног раста, као и ефикасног коришћења воде и нутријената [49]. До инвазивности може доћи услед смањене испаше, након избијања пожара [48], или када климатске промене прошире њихов потенцијални ареал [47].



Слика 5. Мухар (*Panicum Virgatum*)

<https://www.naturalshorenatives.com/product/4-switchgrass-panicum-virgatum-/80>

ЗАКЉУЧАК

Предност гајења вишегодишњих трава огледа се у примени једноставне агротехнике и могућности гајења на мање квалитетним земљиштима [50]. Ови усеви током вишегодишњег животног циклуса образују велику биомасу кореновог система који поспешује активност земљишне микрофауне. Надземна маса пружа уточиште великом броју птица, инсеката и дивљачи током већег дела године [51], што свеукупно повољно делује на биодиверзитет подручја гајења. Дуг период без обраде земљишта смањује ризик од појаве ерозије и повећава садржај угљеника у земљишту. С друге стране, увођењем алтернативних непрехрамбених усева као енергетских култура, ствара се нова прилика за становништво руралних подручја.

Литература

- [1] Taylor, G., Donnison, I.S., Murphy-Bokern, D., Morgante, M., Bogeat-Triboulot, M.B., Bhalerao, R., Hertzberg, M., Polle, A., Harfouche, A., Alasia, F.: "Sustainable Bioenergy for Climate Mitigation Developing Drought-Tolerant Trees and Grasses". *Annals of Botany*, 124, 2019, 513–520.
- [2] International Energy Agency Renewables 2018. Available online: <https://www.iea.org/reports/renewables-2018>.
- [3] Lewandowski, I.: "The increasing Demand for Biomass in a Growing Bioeconomy", *Perennial Biomass Crops for a Resource-Constrained World*, (eds.) Barth, S., Murphy-Bokern, D., Kalinina, O., Taylor, G., Jones, M., Springer, Germany, 2016, 3–13.
- [4] Clifton-Brown, J., Hastings, A., von Cossel, M., Murphy-Bokern, D., McCalmont, J., Whittaker, J., Alexopoulou, E., Amaducci, S., Andronic, L., Ashman, C.: "Perennial Biomass Cropping and Use: Shaping the Policy Ecosystem in European Countries". *GCB Bioenergy*, 15, 2023, 538–558.
- [5] Blair, M.J., Gagnon, B., Klain, A., Kulišić, B.K.: "Contribution of Biomass Supply Chains for Bioenergy to SD Goals". *Land*, 10, 2021, 181.
- [6] Hu, S., Wu, L., Persson, S., Peng, L., Feng, S.: "Sweet sorghum and miscanthus: Two Potential Dedicated Bioenergy Crops in China". *Journal of Integrative Agriculture*, 2017, 16, 1236–1243.
- [7] Ceotto, E., di Candilo, M., Castelli, F., Badeck, F.W., Rizza, F., Soave, C., Volta, A., Villani, G., Marletto, V.: "Comparing Solar Radiation Interception and Use Efficiency for the Energy Crops Giant Reed (*Arundo donax* L.) and Sweet Sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench)". *Field Crops Research*, 2013, 149, 159–166.
- [8] Taylor, G.: "Biofuels and the Biorefinery Concept", *Energy Policy*, 36, 2008, 4406–4409.
- [9] Arias, C., Lino, G., Sánchez, E., Nogués, S., Serrat, X.: "Drought impact on the morpho-physiological parameters of perennial rhizomatous grasses in the Mediterranean environment", *Agriculture*, 13, 2023, 1233.
- [10] Milanović, N., Brajević, S., Dželetović, Ž., Andrejić, G., Simić, A., Aleksić, U.: "Giant Reed (*Arundo donax* L.) in Technosol Phytostabilization: Preliminary Results", 37th International Congress on Process Industry-Processing '24, 37, 2024, 157-166.
- [11] Nackley, L.L., Kim, S.H.: "A salt on the bioenergy and biological invasions debate: salinity tolerance of the invasive biomass feedstock *Arundo donax*". *GCB Bioenergy*, 7, 2015, 752–762.
- [12] Parenti, A., Lambertini, C., Monti, A.: "Areas with Natural Constraints to Agriculture: Possibilities and Limitations for The Cultivation of Switchgrass (*Panicum virgatum* L.) & Giant Reed (*Arundo donax* L.) in Europe", *Land Allocation for Biomass Crops*, (Eds.) Li, R.; Monti, A., Springer, 2018, 39-63.
- [13] Pulighe, G., Bonati, G., Colangeli, M., Morese, M.M., Traverso, L., Lupia, F., Khawaja, C., Janssen, R., Fava, F.: "Ongoing and Emerging Issues for Sustainable Bioenergy Production on Marginal Lands in the Mediterranean Regions", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2019, 103, 58–70.
- [14] Fierro, A., Forte, A., Zucaro, A., Micera, R., Giampietro, M.: "Multi-scale integrated assessment of second-generation bioethanol for transport sector in the Campania Region", *Journal of Cleaner Production*, 2019, 217, 409-422.

- [15] Villegas Calvo, M., Colombo, B., Corno, L., Eisele, G., Cosentino, C., Papa, G., Adani, F.: "Bioconversion of giant cane for integrated production of biohydrogen, carboxylic acids, and polyhydroxyalkanoates (PHAs) in a multistage biorefinery approach", *ACS Sustainable Chemistry and Engineering*, 2018, 6(11), 15361-15373.
- [16] Corno, L., Pilu, R., Adani, F.: "Arundo donax L., A non-food crop for bioenergy and bio-compound production", *Biotechnology Advances*, 2014, 32(8), 1535–1549.
- [17] Angelini, L.G., Ceccarni, L., Di Nasso, N.N., Bonari E.: "Comparison of Arundo donax L. and Miscanthus x giganteus in a long-term field experiment in Central Italy: Analysis of productive characteristics and energy balance", *Biomass and bioenergy*, 2009, 33, 635-643.
- [18] McWilliams, J.D.: "Arundo donax. In: Fire effects information system", US Department of Agriculture, 2004.
- [19] Neukirche, D., Himken, M., Lammel, J., Czepionka Krause, U., Olf, H.W.: "Spatial and temporal distribution of the root system and root nutrient content of an established Miscanthus crop", *European Journal of Agronomy*, 1999, 11, 301–309.
- [20] Lange, W.: "Die Extraktstoffe von Riesengras (Miscanthus sinensis Anderss.). Ein Vergleich der sommergrünen und der wintergetrockneten Pflanze", *Holzforschung*, 1992, 46, 277–282.
- [21] Wang, D.F., Portis, A.R., Moose, S.P., Long, S.P.: "Cool C4 photosynthesis: pyruvate Pi dikinase expression and activity corresponds to the exceptional cold tolerance of carbon assimilation in Miscanthus x giganteus", *Plant Physiology*, 2008, 148, 557–567.
- [22] Dohleman, F.G., Heaton, E.A., Leahey, A.D.B., Long, S.P.: "Does greater leaf-level photosynthesis explain the larger solar energy conversion efficiency of Miscanthus relative to switchgrass?", *Plant Cell Environment*, 2009, 32, 1525–1537.
- [23] Grzegórska, A., Czaplicka, N., Antonkiewicz, J., Rybarczyk, P., Baran, A., Dobrzyński, K., Zabrocki, D., Rogala, A.: "Remediation of soils on municipal rendering plant territories using Miscanthus x giganteus". *Environmental Science and Pollution Research*, 2023, 30 (9), 22305–22318.
- [24] Janković, B., Manić, N., Popović, M., Cvetković, S., Dželetović, Ž., Stojiljković, D.: "Kinetic and thermodynamic compensation phenomena in C3 and C4 energy crops pyrolysis: Implications on reaction mechanisms and product distributions", *Industrial Crops and Products*, 2023, 194, 116275.
- [25] Babović, N., Dražić, G., Đorđević, A.: "Mogućnost korišćenja biomase poreklom od brzorastuće trske Miscanthus x giganteus", *Hemijska industrija*, 2012, 66, 223-233.
- [26] AEBIOM, *European Biomass Statistics*, 2007.
- [27] Mykleby, P.M., Lenters, J.D., Cutrell, G.J., Herrman, K.S., Istanbuloglu, E., Scott, D.T., Twine, T.E., Kucharik, C.J., Awada, T., Soylu, M.E.: "Energy and water balance response of a vegetated wetland to herbicide treatment of invasive Phragmites australis". *Journal of Hydrology*, 2016, 539, 290–303.
- [28] Vazić, T., Svirčev, Z., Dulić, T., Krstić, T., Obreht, I.: "Potential for energy production from reed biomass in the Vojvodina region (north Serbia)" *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2015, 48, 670–680.

- [30] Eller, F., Skálová, H., Caplan, J.S., Bhattarai, G.P., Burger, M.K., Cronin, J.T., Guo, W.Y., Guo, X., Hazelton, E.L.G., Kettenring, K.M., Lambertini, C., McCormick, M.C., Meyerson, L.A., Mozdzer, T.J., Pyšek, P., Sorrell, B.K., Whigham, D.F., Brix, H.: "Cosmopolitan Species As Models for Ecophysiological Responses to Global Change: The Common Reed *Phragmites australis*". *Frontiers in Plant Science*, 2017, 8, 1833.
- [31] Wichmann, S., Köbbing, J.F.: "Common reed for thatching – A first review of the European market", *Industrial Crops and Products*, 2015, 77, 1063–1073.
- [32] Asano, K., Nakamura, R., Araie, A., Koike, R., Takahashi, K., Madachi, T., Ishida, M.: "Effects of year and harvest time within the year on yield and chemical composition of common reed (*Phragmites communis* Trin.) as ruminant feed", *Grassland Science*, 2015, 61 (1), 1–5.
- [33] Rezaei, S., Park, J., Rupani, P.F., Darajeh, N., Xu, X., Shahrokhishahraki, R.: "Phytoremediation potential and control of *Phragmites australis* as a green phytomass: an overview", *Environmental Science and Pollution Research*, 2019, 26 (8), 7428–7441.
- [34] Huang, X., Zhao, F., Yu, G., Song, C., Geng, Z., Zhuang, P.: "Removal of Cu, Zn, Pb, and Cr from Yangtze Estuary Using the *Phragmites australis* Artificial Floating Wetlands", *BioMed Research International*, 2017, 1, ID 6201048.
- [35] Shuai, W., Chen, N., Li, B., Zhou, D., Gao, J.: "Life cycle assessment of common reed (*Phragmites australis* (Cav) Trin. ex Steud) cellulosic bioethanol in Jiangsu Province", *Biomass and Bioenergy*, 2016 9, 40–47.
- [36] Ust'ak, S., Šinko, J., Muñoz, J.: "Reed canary grass (*Phalaris arundinacea* L.) as a promising energy crop", *Journal of Central European Agriculture*, 2019, 20 (4), 1143–1168.
- [37] Laurent, A., Pelzer, E., Loyce, C., Makowskia, D.: "Ranking yields of energy crops: A meta-analysis using direct and indirect comparisons". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2015, 46, 41–50.
- [38] Lord, R.A.: "Reed canary grass (*Phalaris arundinacea*) outperforms *Miscanthus* or willow on marginal soils, brownfield and non-agricultural sites for local, sustainable energy crop production", *Biomass and Bioenergy*, 2015, 78, 110–125.
- [39] Dželetović, Ž., Simić, A., Brajević, S., Andrejić, G.: "Soil characteristics under spontaneous biocover of *Phalaris arundinacea* L. in Serbia", *Annals of the University of Craiova*, 2023, 53 (1), 125–134.
- [40] Vymazal, J., Kropfelová, D.: "Growth of *Phragmites australis* and *Phalaris arundinacea* in constructed wetlands for wastewater treatment in the Czech Republic", *Ecological Engineering*, 2005, 25 (5), 606–621.
- [41] Tahir, M.H.N., Casler, M.D., Moore, K.J., Brummer, E.C.: "Biomass yield and quality of reed canarygrass under five harvest management systems for bioenergy production" *BioEnergy Research*, 2011, 4 (2), 111– 119.
- [42] Casler, M.D., Vogel, K.P., Taliaferro, C.M., Wynia, R.L.: "Latitudinal adaptation of switchgrass populations", *Crop Science*, 2004, 44, 293–303.
- [43] Das, M.K., Fuentes, R.G., Taliaferro, C.M.: "Genetic variability and trait relationships in switchgrass", *Crop Science*, 2003, 44, 443–448.
- [44] Parrish, D.J., Fike, J.H.: "The biology and agronomy of switchgrass for biofuels", *Critical Reviews in Plant Sciences*, 2005, 24, 423–459.
- [45] Porter, C.L.: "An analysis of variation between upland and lowland switchgrass *Panicum virgatum* L in central Oklahoma", *Ecology*, 1966, 47, 980–992.

- [46] Sanderson, M.A., Adler, P.R., Boateng, A.A., Casler, M.D., Sarath, G.: "Switchgrass as a biofuels feedstock in the USA", *Canadian Journal of Plant Science*, 2006, 86, 1315-1325.
- [47] Barney, J.N., DiTomaso, J.M.: "Bioclimatic predictions of habitat suitability for the biofuel switchgrass in North American under current and future climate change scenarios", *Biomass Bioenergy*, 2010, 34, 124-133.
- [48] Simberloff, D.: "Invasion biologists and the biofuels boom: cassettes or colleagues?", *Weed Science*, 2008, 56, 867-872.
- [49] Pyke, C.R., Thomas, R., Porter, R.D., Hellmann, J.J., Dukes, J.S., Lodge, D.M., et al.: "Current practices and future opportunities for policy on climate change and invasive species", *Conservation Biology*, 2008, 22, 585-592.
- [50] Bilandžija, N.: "Perspektiva i potencijal korišćenja kulture *Miscanthus x giganteus* u RH", *Inženjerstvo Okoliša*, 2014, 1(2), 81-87.
- [51] Fernando, A.L., Duarte, M.P., Almeida, J., Boléo, S., Mendes, B.: "Environmental impact assessment (EIA) of Energy crops production in Europe", *Biofuels, Bioproducts & Biorefining*, 2010, 4, 594-604.