

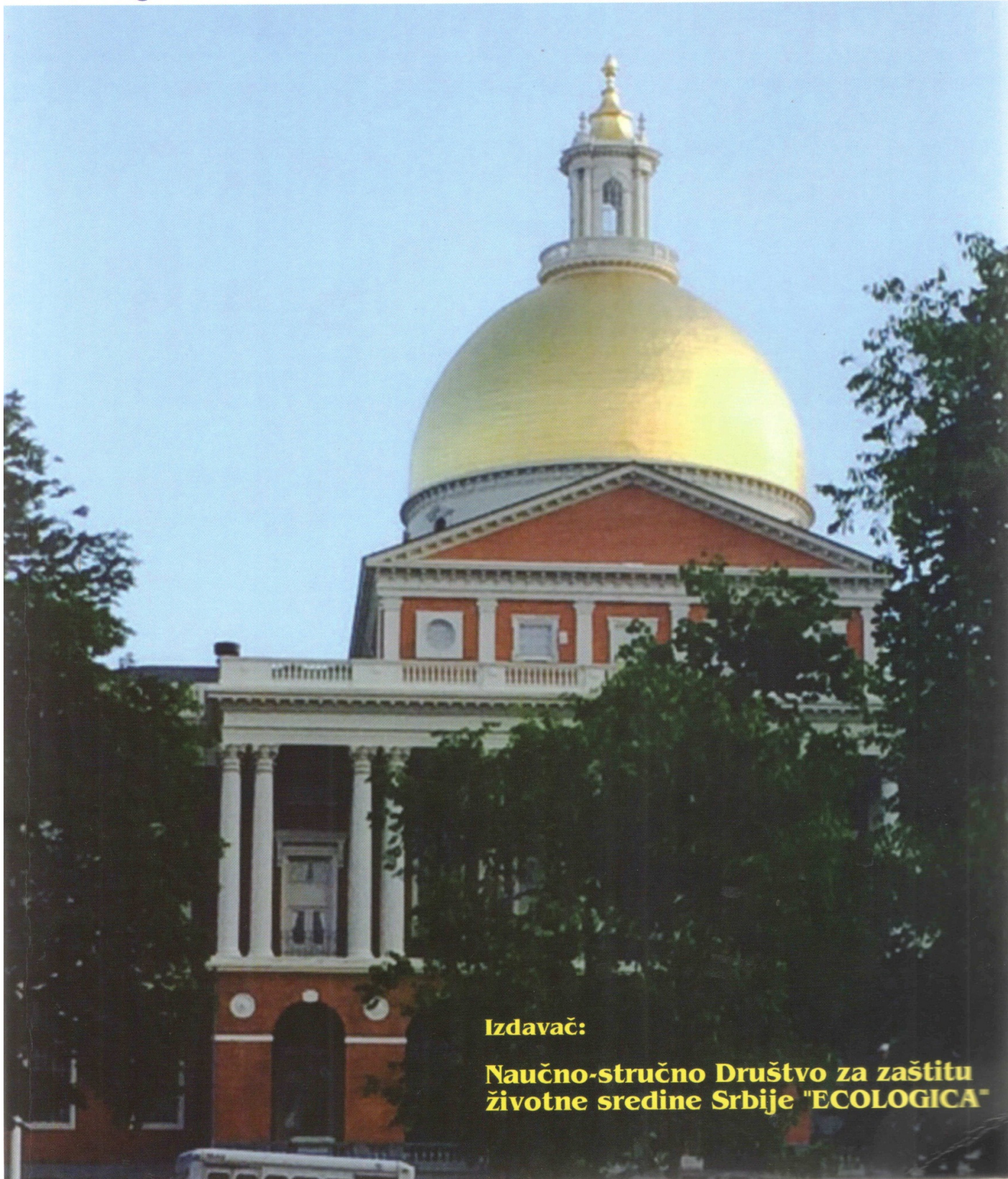
# ECOLOGICA

UDC:502.7

ISSN 0354 - 3285

No - 78 • Beograd, 2015. • Godina XXII

Samo u pretplati



**Izdavač:**

**Naučno-stručno Društvo za zaštitu  
životne sredine Srbije "ECOLOGICA"**

# Фитостабилизација одлагалишта пепела термоелектрана биоенергетским усевам *Miscanthus × giganteus*.

Жељко Целетовић<sup>1</sup>, Невена Михаиловић<sup>1</sup>,  
Ива Живановић<sup>2</sup>, Радмила Пивић<sup>3</sup>,  
Исидора Глишић<sup>4</sup>, Александар Симић<sup>2</sup>

Оригинални научни рад  
UDC:504.75:662.11

## УВОД

Одлагалишта пепела представљају велике грађевинске објекте за безбедно и трајно одлагање нус-производа насталих сагоревањем угља у термоелектранама (претежно летећи пепео и у мањој мери пепео из ложишта и шљака). Одлагање пепела се најчешће изводи истакањем хидраулички транспортоване пепелне пулпе у касете (лагуне) одлагалишта. Тако одложен пепео представља отпад са употребном вредношћу, односно може се користити као сировина за производњу грађевинског материјала [14]. Пепео настао сагоревањем угља припада групи аморфних феро-алумосиликата, са физичко-хемијским и минералошким особинама које су углавном условљене пореклом и квалитетом угља, процесом сагоревања и степеном испирања након одлагања [1]. Због своје мале масе и немогућности формирања агрегата, пепео може бити разнесен ветром по великој површини, што може изазвати озбиљне еколошке проблеме: болести код људи и стоке, загађење подземних вода и земљишта, смањење фотосинтетске способности оближњих терестричних и акватичних биљака услед таложења на лисној површини [7].

Да би се спречило разношење пепела ветром, на површинама касета на којима се не одлаже пепео, заснива се биопокривач са различитим адаптивним биљним врстама, употребом стандардне агротехнике и повећаних доза минералних ђубрива [3].

Адресе аутора: <sup>1</sup>Универзитет у Београду, ИНЕП – Институт за примену нуклеарне енергије, Земун; <sup>2</sup>Универзитет у Београду, Пољопривредни факултет, Земун; <sup>3</sup>Институт за земљиште, Београд; <sup>4</sup>ЈП ТЕНТ, ТЕ Никола Тесла А, Обреновац

Рад примљен: 22. 04. 2015.

Рад прихваћен: 29. 05. 2015.

Ревегетацијом се може ефикасно стабилизovati и заштитити површина одлагалишта пепела од ерозије ветром, чиме су могу побољшати квалитет станишта и естетски изглед предела [7], а коришћењем различитих биљних врста за ревегетацију остварити биљна разноврсност вегетације на одлагалиштима пепела [15].

Гајење мискантуса (*Miscanthus × giganteus* Greef et Deu.) на маргиналним земљишним површинама је снажно подржано у Европи и у САД, с циљем ублажавања негативних ефеката климатских промена [11]. Огледима изведеним у пољу потврђено је да се и мискантус може гајити директно на пепелу, без додатних поправки земљишних физичко-хемијских особина (без уношења ђубрива) [13]. Мискантус, као вишегодишња трава, редукује ризик од ерозије земљишта [8] и у одговарајућем степену повећава садржај земљишног угљеника и биодиверзитет [10]. Поред тога, мискантус је обећавајући кандидат за фиторемедијацију тешких метала у земљиштима [6], а предложен је и за ремедијацију земљишних процедурних вода [9]. Циљ нашег истраживања је да испитамо могућности заснивања мискантуса и његовог опстанка у агроколошким условима одлагалишта пепела с циљем његове ревегетације и фитостабилизације.

## МАТЕРИЈАЛ И МЕТОДЕ

За ово проучавање оглед смо упоредо засновали на две локације: 1) на спољашњој косини касете „Б” одлагалишта пепела и шљаке термоелектране „Колубара” А, која се налази у Великим Црљенима (на приближно 50 km јужно од Београда, 44°28' ИГД и 20°19' СГШ); и 2) на природном незагађеном земљишту типа карбонатни чернозем (референтно земљиште) у Земуну, на локацији ИНЕП-а (44°51' ИГД и 20°22' СГШ). На обе локације величина свих огледних парцела била је 5 m x 4 m (20 m<sup>2</sup>). Огледни третмани су обухватили 3 различите густине садње ризома: 1, 2 и 3 ризома по m<sup>2</sup>. Оглед је постављен у 3 понављања, у насумичном блок систему. За пропагацију су коришћени ризоми

дужине 10-15 cm, са 3-6 нодуса. Садња ризома мискантуса изведена је ручно 4. априла 2011., на дубини од 10 cm. Комерцијално доступна НПК хранива, формулације 15:15:15, су примењена само приликом садње, у количини која одговара 667 kg/ha (100 kg N/ha + 100 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha + 100 kg K<sub>2</sub>O/ha), разбацавањем по огледној површини. Усев није наводњаван.

На основу претходно извршених истраживања физичко-хемијских одлика [18], према текстури (ISSS класификација), пепео је песак-вила иловача (76.3% песак; 20.1% прах; и 3.6% глина), а референтно земљиште је лака глинуша (39.1% песак; 28.5% прах; и 32.4% глина). Пепео је алкалан (pH<sub>KCl</sub> 7.7), са веома ниским садржајем укупног азота (0.008%), сиромашан у приступачном фосфору (8 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/100g пепела), али са високом снабдевености приступачним калијумом (32 mg K<sub>2</sub>O/100g пепела). Референтно земљиште је слабо кисело (pH<sub>KCl</sub> 5.5), са средњим садржајем укупног азота (0.113%) и приступачног фосфора (9 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/100g земље) и са високом снабдевености приступачним калијумом (35 mg K<sub>2</sub>O/100g земље).

Одређивали смо следеће морфолошке особине мискантуса: ницање, висину биљака и принос биомасе. Ницање усева је одређено на основу броја виталних ризома, који су образовали најмање 1 стабло, према укупно посађеном броју ризома на одговарајућој огледној парцели. Како мискантус у години заснивања усева одликује неуједначено ницање из ризома [17], проценат изниклих биљака одредили смо 5 седмица након почетка ницања. Код мерења висине усева мерени су појединачно од нивоа земљишта највиши (терминални) изданци (најчеш-

ће лисни) од сваког изниклог ризома, а затим израчунавани просеци за сваку огледну парцелу и третман. Биомаса приноса је одређена кошењем целокупног надземног дела усева, његовим сушењем и мерењем. Одмерена сува маса је затим прерачуната на површину од 1 хектара. За тумачење добијених резултата биомасе приноса, коришћени су одговарајући климатско-метеоролошки подаци Републичког хидрометеоролошког завода Србије [16] за метеоролошку станицу Београд.

## РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА

Опште ницање усева забележено је месец дана након садње ризома, 4. маја 2011. Процент изниклих биљака кретао се између 80-90% и није се разликовао између локација. Међутим, по висини усев мискантуса на одлагалишту пепела је већ у првој години заостајао у односу на усев на референтном земљишту. Заостајање раста у висину је износило од 20-40% и испољавало се све до четврте године, када је тек усев мискантуса био приближно исте висине са усевом на референтном земљишту.

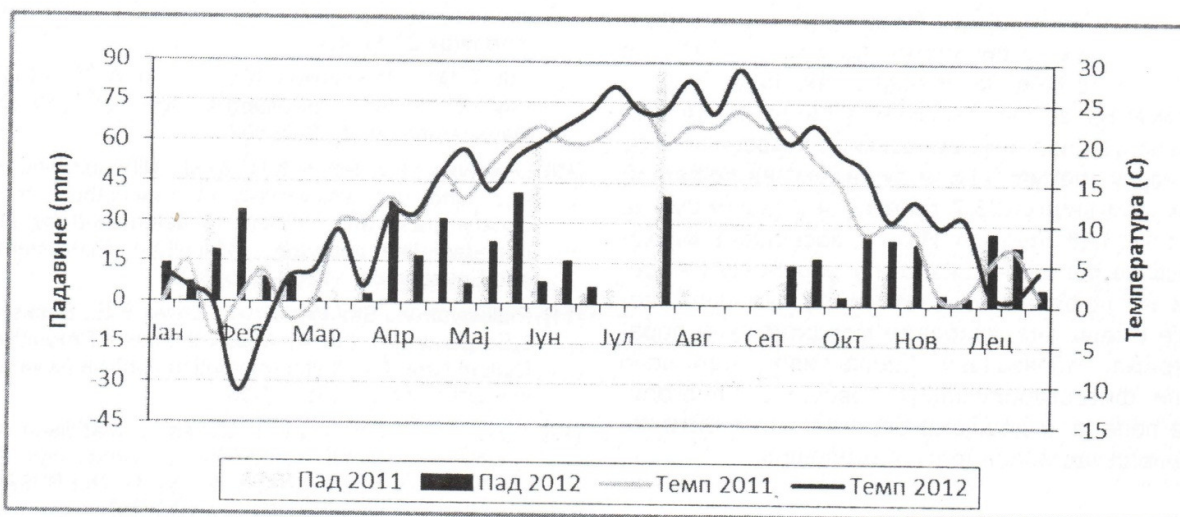
Принос надземне биомасе мискантуса у првој години гајења је обично низак [17], а главни узрок томе је неразвијен коренов систем мискантуса [4]. Са развојем кореновог система приноси се повећавају и достижу максимум у 3-5 години гајења. Међутим, на пепелу је усев мискантуса, у поређењу са усевом на референтном земљишту, значајно заостајао у образовању надземне биомасе (табела 1). Код густине садње од 1 ризома/м<sup>2</sup> током летњих месеци 2011. године дошло је до пропадања (потпуног сушења и угинућа) усева на појединим огледним парцелама.

Табела 1 - Утицај густине садње на принос надземне биомасе мискантуса на референтном (природом незагађеном) земљишту и на одлагалишту пепела ТЕ Колубара (жетва изведена у фебруару, тона суве материје по хектару ± СД)

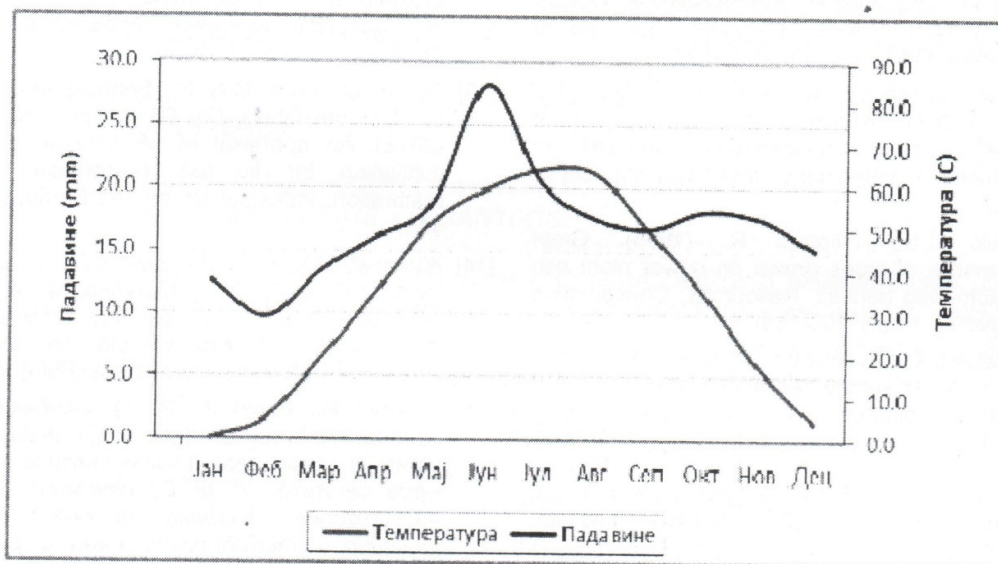
Локација	густина садње (ризом м <sup>-2</sup> )	I година	II година	III година	IV година
Референтно земљиште	1	0.06 ± 0.01	0.32 ± 0.14	3.83 ± 1.27	8.50 ± 2.25
	2	0.20 ± 0.09	2.17 ± 0.83	14.85 ± 3.37	23.70 ± 4.97
	3	0.12 ± 0.05	0.43 ± 0.17	5.84 ± 0.41	13.65 ± 1.52
Одлагалиште пепела	1	< 0.01	< 0.01	0.01 ± 0.01	0.39 ± 0.34
	2	0.02 ± 0.01	0.05 ± 0.02	0.46 ± 0.14	1.91 ± 0.57
	3	0.08 ± 0.02	0.25 ± 0.05	2.20 ± 0.45	5.88 ± 1.17

Према подацима РХМЗС [16], лета 2011. и 2012. године на територији Београда су била изразито сушна и топла, са вишедневним дневним температурама у категоријама изнад и знатно изнад нормале (слика 1). Главни разлози пропадања биљака на површинама одлагалишта пепела су, управо, мали број дана са падинама током вегетационог периода и високе

температуре [15]. Овако неповољни временски услови су узроковали трајно увенуће >33 % изниклих биљака мискантуса на пепелу. Наиме, током трајања суше раст усева је успорен, а са појавом топлотних удара и потпуно престаје, након чега настаје пропадање још увек плитко укорењеног кореновог система мискантуса [4].



Слика 1 - Просечне десетодневне падавине и температуре забележене током трајања огледа 2011. и 2012.



Слика 2 - Walter-ов дијаграм просечних температура ваздуха и падавина (подаци са МС Београд) за 30-годишњи период (1981 - 2010.)

Сушни период обично наступа средином јула, када падавине нису довољне да надоместе интензивну евапотранспирацију проузроковану изузетно високим температурама, слика 2. Укупна количина падавина, према подацима РХМЗС [16], у 2011. години је била 422 mm што је знатно испод вишегодишњег просека 614,2 mm. На основу декадних вредности падавина и просека средњих температура, слика 1 може се закључити да се 2011. и 2012. година одликују изузетно неповољним распоредом и веома оскудним падавинама. Недовољна количина падавина и високе температуре у периоду интензивног раста и развоја ове биљке, имали су очигледно за последицу стагнацију у образовању надземне биомасе мискантуса. Наиме, у току главне

сезоне раста, суша и приступачност воде су главни ограничавајући чиниоци, који утичу на продуктивност биомасе надземног дела код свих генотипова мискантуса [12]. Неповољне физичко-хемијске одлике пепела и екстремни микроклиматски услови ометају развој компактног биљног покривача [2-3]. Све испитиване врсте, које су се одржале на одлагалишту пепела, одржавају ниво фотосинтезе која им је омогућавао да преживе и расту под стресним условима, мада са нижим нивоима од оптималног [5]. При том и продукција пигмента хлорофила је значајно умањена код биљака мискантуса гајених на пепелу у односу на биљке са референтног земљишта [13].

У годинама које су биле просечне и изнад-просечне са количинама падавина (2013. и 2014.) испољено је значајно повећање у приносима надземне биомасе, табела 1. Са највишим оствареним приносима биомасе јасно се издвајају третмани са: 2 ризома/м<sup>2</sup> на референтном земљишту (23.7 тона/ха) и 3 ризома/м<sup>2</sup> на пепелу (5,88 тона/ха). Иако је заснивање мискантуса на пепелу отежано и у поређењу са усевом на референтном земљишту значајно заостаје у свим анализираним морфолошким параметрима, образовани биопокривач ефикасно врши фитостабилизацију површине одлагалишта пепела, а добијена биомаса може бити коришћена као биоенергетска сировина.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Benezet J.C., Adamiec P., Benhassaine A. (2008). Relation between silico-aluminous fly ash and its coal of origin. *Particuology* 6(2), 85–92.
- [2] Djurdjević L., Mitrović M., Pavlović P., Gajić G., Kostić O. (2006). Phenolic Acids as Bioindicators of Fly Ash Deposit Revegetation. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 50(4), 488–495.
- [3] Dželetović Ž.S., Filipović R. (1995). Grain characteristics of crops grown on power plant ash and bottom slag deposit. *Resources, Conservation and Recycling* 13 (2), 105–113.
- [4] Dželetović Ž., Živanović I., Pivić R., Maksimović J. (2013). Water supply and biomass production of *Miscanthus × giganteus*. In: *Soil - Water - Plant* (Proceedings the 1<sup>st</sup> International Congress on Soil Science and XIII National Congress in Soil Science, September 23–26<sup>th</sup>, 2013., Belgrade, Serbia), Ed. Saljnikov E.R., Publ. Soil Science Institute, Belgrade, 435–450.
- [5] Gajić G., Pavlović P., Kostić O., Jarić S., Đurđević L., Pavlović D., Mitrović M. (2013). Ecophysiological and biochemical traits of three herbaceous plants growing on the disposed coal combustion fly ash of different weathering stage. *Archives of Biological Sciences* 65(4), 1651–1667.
- [6] Hartley W., Dickinson N.M., Riby P., Lepp, N.W. (2009). Arsenic mobility in brownfield soils amended with green waste compost or biochar and planted with *Miscanthus*. *Environmental Pollution* 157(10), 2654–2662.
- [7] Haynes R.J. (2009): Reclamation and revegetation of fly ash disposal sites – challenges and research needs. *Journal of Environmental Management* 90(1), 43–53.
- [8] Heaton E., Voigt T., Long S.P. (2004). A quantitative review comparing the yields of two candidate C4 perennial biomass crops in relation to nitrogen, temperature and water. *Biomass and Bioenergy* 27(1), 21–30.
- [9] Jones D.L., Williamson K.L., Owen A.G. (2006). Phytoremediation of landfill leachate. *Waste Management* 26(8), 825–837.
- [10] Lewandowski I., Schmidt U (2006): Nitrogen, energy and land use efficiencies of miscanthus, reed canary grass and triticale as determined by the boundary line approach. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 112(4), 335–346.
- [11] Pidlisnyuk V., Stefanovska T., Lewis E.E., Erickson L.E., Davis L.C. (2014). *Miscanthus* as a Productive Biofuel Crop for Phytoremediation. *Critical Reviews in Plant Sciences* 33(1), 1–19.
- [12] Purdy S., Clifton-Brown J., Jones L., Maddison A., Davey C., Cunliffe J., Shield I., Barraclough T., Castle M., Donnison I., Karp A. (2011). The BBSRC Sustainable Bioenergy Centre (BSBEC): Perennial bioenergy crops programme; Optimising biomass from *Miscanthus*. *Aspects of Applied Biology* 112: *Biomass and Energy Crops IV* (Eds: Booth E. et al.), Association of Applied Biologists, Warwick, UK, 11–19.
- [13] Técher D., Laval-Gilly P., Bennisroune A., Henry S., Martinez-Chois C., D'Innocenzo M., Falla J. (2012). An appraisal of *Miscanthus × giganteus* cultivation for fly ash revegetation and soil restoration. *Industrial Crops and Products* 36, 427–433.
- [14] Животић М.М., Стојиљковић Д.Д., Јововић А.М., Чудић В.В. (2012): Могућности коришћења пепела и шљаке са депоније термоелектране „Никола Тесла“ као отпада са употребном вредношћу. *Хемијска индустрија* 66(3), 403–412.
- [15] Јоветић И., Бајић З. (2011). Праћење развоја дрвенастих биљака на депонији пепела ТЕНТ-А у циљу пошумљавања косина насипа, као трајна мера заштите. У: *III Саветовање „Стање и перспективе депонија пепела, шљаке и јаловине у термоелектранама и рудницима“* (зборник радова, уредн.: Танасијевић Љ. и Игњатовић М.Р., 20–23. септембар 2011., Палић, Србија), Привредна комора Србије, Београд, 191–199.
- [16] Републички хидро-метеоролошки завод Србије (<http://www.hidmet.gov.rs>)
- [17] Џелетовић Ж.С. (2012). Мискантус (*Miscanthus × giganteus* Greef et Deu.): производне одлике и принос биомасе. Задужбина Андрејевић, Београд.
- [18] Џелетовић Ж.С., Андрејић Г.З., Живановић И.Б., Пивић Р.Н., Симић А.С., Максимовић Ј.С. (2014). Заштита, уређење и одрживо коришћење пољопривредног земљишта на територији Републике Србије гајењем биоенергетске траве *Miscanthus × giganteus*. ИНЕП - Институт за примену нуклеарне енергије, Земун, 113 стр.

## ИЗВОД

### ФИТОСТАБИЛИЗАЦИЈА ОДЛАГАЛИШТА ПЕПЕЛА ТЕРМОЕЛЕКТРАНА БИОЕНЕРГЕТСКИМ УСЕВОМ *MISCANTHUS* × *GIGANTEUS*

Циљ нашег истраживања био је да се испита могућност коришћења биљне врсте *Miscanthus* × *giganteus* Greef et Deu. за ревегетацију и фитостабилизацију површина одлагалишта пепела термоелектране која сагорева лигнитски угаљ. Раст и развој усева пратили смо путем пољског огледа заснованог у пролеће 2011. године на одлагалишту пепела ТЕ „Колубара А“, у Великом Црљенима. Усев мискантуса, адаптирао се на изразито неповољне станишне услове за раст и развој и ефикасно је стабилизовао површину одлагалишта пепела. Висина и виталност биљака, као и образована количина биомасе значајно су нижи у односу на биљке гајене на референтном (природном незагађеном) земљишту. У првој години усев образује веома малу количину биомасе (до 80 кг суве материје ха<sup>-1</sup>), која се из године у годину постепено повећава и достиже у четвртој години 5900 кг с.м. ха<sup>-1</sup>.

**Кључне речи:** мискантус, термоелектрана, одлагалиште пепела, биомаса

## ABSTRACT

### PHYTOSTABILIZATION OF POWER PLANT ASH DEPOSITS BY BIOENERGY CROP *MISCANTHUS* × *GIGANTEUS*

*Miscanthus* (*Miscanthus* × *giganteus* Greef et Deu) is a bioenergy crop of the second generation. It is a perennial rhizomatous grass, the cultivation of which is strongly supported on marginal lands of Europe and USA, with the purpose of alleviating the negative effects of climate changes. The aim of our investigation was to analyze the possibility of utilization of this plant species for revegetation and phytostabilization of ash deposits at a power plant combusting lignite.

The growth and the development of the crop was monitored in a field experiment established in the spring of 2011 on the ash deposit of PP "Kolubara A" in Veliki Crljeni, near Lazarevac (Serbia). The crop survived extremely unfavorable conditions and successfully stabilized the surface of the ash deposit. The height and the viability of the plants, as well as the achieved biomass were significantly lower than in the plants cultivated on a referent (natural unpolluted) soil. After one year, the crop accumulated very low biomass content (less than 80 kg dry matter ha<sup>-1</sup>), but this increased gradually each year and reached 5900 kg d.m. ha<sup>-1</sup> in the fourth year.

**Keywords:** miscanthus, power plant, ash deposit, biomass