

## РЕЦИКЛАЖА И ОДРЖИВИ РАЗВОЈ

UDK 628.472.3:621.311.22

Стручни рад

---

Технички факултет у Бору Универзитета у Београду, В. Ј. 12, 19210 Бор, Србија  
Катедра за минералне и рециклажне технологије  
Тел. +381 30 424 555, 424 556, Фак. +381 30 421 078

---

### МОГУЋНОСТ ГАЈЕЊА ОДРЕЂЕНИХ ТРАВНИХ ВРСТА НА ДЕПОНИЈАМА ПЕПЕЛА И ШЉАКЕ ТЕРМОЕЛЕКТРАНА

### POSSIBILITY OF CULTIVATION OF SPECIFIC GRASS SPECIES ON ASH AND SLAG DISPOSALS OF THERMOELECTRIC POWER PLANTS

Радмила Пивић<sup>#</sup>, Србољуб Максимовић, Зорица Цокић

Институт за земљиште, Београд, Србија

---

#### ИЗВОД

Сагоревањем угља у пећима термоелектрана као крајњи продукт рада настају пепео и шљака који се одлажу у активне и пасивне касете депонија. Активне касете су оне у које се одлаже пепео-хидросмеша, а пасивне су у фази мировања и на њима се морају спроводити интензивне мере биолошке рекултивације.

У раду је презентовано испитивање спроведено у циљу одабирања оних травних врста које ће бити најпогодније за заснивање травног покривача у екстремним условима супстрата на коме ће се гајити.

Испитане су хемијске особине пепела, које су указале на хетерогени састав испитиваног материјала (рН вредности, садржај органске материје, садржај макроелемената и микроелемената).

У одабраним травним врстама: *Lotus corniculatus*, *Cirsium arvense*, *Festuca rubra* и *Sorghum Vulgare*, одређен је садржај N, P, K у биљним узорцима као и садржај микроелемената.

**Кључне речи:** термоелектрана, депонија, пепео, траве, макроелементи, микроелементи

#### ABSTRACT

As a final product of combustion of coal in coal power plants are ash and slag which is disposed in active inactive disposal cassettes on ash and slag dump. Active cassettes are those where commixture of ash and water are disposed, and inactive are those where active bio-reclamation measures has to be done.

This paper presents research prepared in order to examine grass species which will be the most appropriate in order to establish solid cover in extreme conditions of the substrate.

During the research, chemical characteristics were examined in order to determine heterogenic composition of the substrate. Chemical characteristics that were examined are: pH value, content of organic material, content of micro and macro elements.

In selected grass species: *Lotus corniculatus*, *Cirsium arvense*, *Festuca rubra* and *Sorghum Vulgare*, it was determined content of N, P, K in herbal specimen, as well as content of micro elements.

**Key words:** thermoelectric power plant, disposal, ash, grass species, macro elements, micro elements

---

<sup>#</sup> Особа за контакт: [soilscis@eunet.yu](mailto:soilscis@eunet.yu)

## УВОД

Сагоревањем лигнита у пећима термоелектрана производи се преко 70% електричне енергије у Републици Србији. Термоелектрана „Никола Тесла” која као сировинску базу користи воду и угаљ, годишње произведе као крајњи продукт рада  $2,4 \cdot 10^4$  тона пепела (Павловић et. al., 2004), који се одлаже на депонијама смештеним на десној обали реке Саве. Депонија „А” смештена на 41 км узводно од Београда заузима површину од 400 ха, док је депонија „Б” површине 600 ха лоцирана на 60 км од Београда.

Свака од депонија састављена је из три касете, једне активне у којој се одлаже пепео и шљака и две пасивне.

Основни узрок загађења животне средине у околини ових депонија је развејавање пепела – еолска ерозија, којом се пепео развејава на околни простор. Процеђивањем воде која се користи у процесу транспорта пепела загађују се подземне воде у окружењу.

## МАТЕРИЈАЛ И МЕТОДЕ РАДА

На испитиваној депонији пепела – касети II ТЕНТА „А“ биолошка рекултивација је изведена у јесен 1998. године засејавањем травне смеше у којој су најзаступљеније биле следеће четири врсте: *Lotus corniculatus*, *Cirsium Arvense*, *Festuca Rubra* и *Sorghum Vulgare*, од којих су све вишегодишње биљке. Пре сетве је извршено ђубрење применом 1000 kg/ha NPK-ђубрива (15 : 15 : 15), а у наредној години су извршене две прихране азотом уношењем по 300 kg/ha ђубрива KAN. У следећим годинама нису вршене интервенције и засновани травњак је препуштен деловању природних услова.

Узорци пепела и биљака траве узети су августа 2006. године из касете бр. II, и то

У Србији су, по наводима (Антоновић Г., 1980, и Симић et al, 1980), вршена бројна истраживања везана за могућност решавања проблема загађења животне средине спровођењем мера биолошке рекултивације.

Основа истраживања било је проучавање минералног састава пепела који је смеша кристалних и аморфних силиката и разних оксида. У пепелу је утврђена највећа заступљеност Si, Al и Fe, затим Ca, Mg, K, Ti (у количини од 0,5–5%), док је садржај Na, P, Mn испод 0,5% (Костић et. al., 1996).

На оваквим супстратима спроведено је испитивање могућности гајења најтолерантнијих врста трава које се могу гајити у екстремним условима одлагалишта пепела и шљаке. Одређен је хемијски састав пепела као супстрата за гајење трава, као и садржај хранљивих макроелемената и микроелемената у четири врсте трава које су коришћене за заснивање травног покривача на површини депоније пепела и шљаке.

Четири узорка са равнoг дела депоније (1–4) и два са насипа (5 и 5a), из површинског слоја (0–20 cm). На једној локацији (5a) није било травног покривача па су биљке узете са осталих пет локација.

У узорцима пепела су одређени основни параметри плодности овог супстрата: рН, карбонати, органска материја, укупни азот, као и приступачни P и K и то коришћењем уобичајених метода хемијске анализе земљишта. Поред тога, одређен је садржај воднорастворљивих соли кондуктометријском методом, а садржаји приступачних база (Ca и Mg) екстракцијом са 1M амонијум-ацетатом и одређивањем методом ААС (атомске апсорпционе

спектрофотометрије). Укупни садржаји микроелемена одређивани су методом ААС, после третирања узорака пепела концентрованом  $\text{HNO}_3$ , уз додатак  $\text{H}_2\text{O}_2$  и благо кључање, после чега је вршено потребно разблаживање и филтрирање. Приступачни садржаји истих микроелемената одређени су методом ААС, после екстракције са раствором 1М  $\text{HCl}$  (уз корекцију за карбонате), док је бор екстрахован врелом водом и одређиван колориметријском методом са азометином.

Садржај N, P и K у биљним узорцима, одређен је тзв. „мокрим“ спаљивањем, односно загревањем до кључања додавањем смеше концентрованих киселина  $\text{H}_2\text{SO}_4$  и  $\text{HClO}_4$ . Из добијеног ратвор азот је

одређиван методом алкалне дестилације и титрације, фосфор – колориметријском методом са молибдатом, а калијум – помоћу пламеног фотометра.

За одређивање Ca, Mg и већине микроелемената биљни материјал је превођен у раствор поступком тзв. „сувог“ спаљивања, односно, прво је вршено жарење на  $550\text{ }^\circ\text{C}$  (више сати), пепео је затим превођен у хлориде и растваран у 0,5М  $\text{HCl}$ , а поменути елементи одређени методом ААС.

Садржај микроелемената As и Hg, одређиван је методом ААС помоћу поступка хидрирања, после тзв. „мокрог“ спаљивања биљних узорака, односно кључања у смеси концентрованих киселина  $\text{HNO}_3$  и  $\text{HClO}_4$ , уз филтрирање и потребно разблаживање.

## РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА

Узорци пепела са разних локација испитиване депоније били су врло хетерогени по свом хемијском саставу (табеле 1–4). Међутим, према просечним вредностима, они су имали слабо алкалну реакцију и низак садржај карбоната. У њима је утврђена знатна количина органске материје (4,2%), али је она била инертна, јер је првенствено састављена од остатака несагорелог угља. О томе говори и врло низак садржај укупног азота (0,043%), што указује на ограничену способност оваквог супстрата за гајење биљака. Однос

C/N је врло широк (50 : 1), што указује на немогућност ослобађања минералних облика азота за исхрану биљака, јер су у тим условима јако успорени процеси минерализације, а преовлађују процеси имобилизације.

Испитивани супстрат показује и повољне особине за гајење биљака као што су: углавном високи садржаји приступачног калијума, средњи садржаји приступачног P, Ca и Mg, док је садржај водорастворљивих соли низак (табела 2).

Табела 1. Основне хемијске особине пепела

Узорци	pH		CaCO <sub>3</sub> (%)	Органска материја (%)	N (%)	C/N	Приступачни	
	H <sub>2</sub> O	nKCl					P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/100g)	K <sub>2</sub> O (mg/100g)
1	8,30	8,20	1,7	1,48	0,020	37 : 1	8,5	23,0
2	6,60	6,10	0,0	4,77	0,055	43 : 1	3,8	41,0
3	7,90	7,62	2,1	5,25	0,050	53 : 1	8,0	30,4
4	6,45	5,70	0,0	3,49	0,051	34 : 1	5,1	18,0
5	7,62	7,60	2,1	5,58	0,056	50 : 1	11,4	32,1
5 <sub>a</sub>	8,45	8,28	3,0	4,64	0,028	83 : 1	11,8	30,8
Просек	7,55	7,25	1,5	4,20	0,043	50 : 1	9,9	29,2

**Табела 2.** Садржај приступачног Са и Mg и водорастворљивих соли на депонији пепела

Локација	Приступачни		Са/Mg (m. m. e/100g)	EC <sub>25</sub> (1 : 5) (mS/cm)	Соли (%)
	Са (mg/100g)	Mg (mg/100g)			
1	376	17	13 : 1	0,151	0,05
2	208	10	12 : 1	0,087	0,03
3	710	23	19 : 1	0,238	0,08
4	173	13	18 : 1	0,093	0,03
5	575	23	15 : 1	0,214	0,07
5 <sub>a</sub>	1,503	54	17 : 1	0,220	0,07
Просек	591	23	16 : 1	0,167	0,06

**Табела 3.** Укупан садржај микроелемената (mg/kg) на депонији пепела

Узорци	Co	Cr	Pb	Ni	Cd	As	Hg
1	8	35	3	68	1,25	15	0,32
2	9	60	7	64	1,40	17	3,07
3	9	74	12	70	1,70	48	0,47
4	5	30	3	38	1,30	15	0,69
5	8	60	7	61	1,70	42	0,28
5 <sub>a</sub>	12	94	17	93	2,15	39	0,59
Просек	9	59	8	66	1,58	29	0,90

Поред тога, овај пепео садржи, као и незагађена земљишта, сличне количине укупних микроелемената (табела 3).

Садржај укупног As је у просеку био изнад дозвољеног нивоа (25 mg/kg) за незагађена земљишта, док су садржаји живе били повећани, а код једног узорка и већи од дозвољеног нивоа (2 mg/kg).

Приступачни садржаји хранљивих микроелемената (табела 4) били су средњи за Co и В. Растворљиви бор, који обично представља један од већих проблема за гајење биљака на депонијама пепела јер га често има у токсичним количинама (Adriano et. al., 1980), био је у току времена испран из испитиване депоније пепела. На неким локацијама утврђене количине износиле су 0,1 mg/kg, што указује на његов могући недостатак у исхрани биљака. Само на једној локацији (5<sub>a</sub> – насип) нађена је висока вредност (3,5 mg/kg) за приступачни бор, а разлог томе је, вероватно, одсуство травног покривача.

Приступачни садржаји потенцијално штетних микроелемената (Pb, Cr, Ni, Cd, As и Hg) у пепелу били су слични онима какви се добијају са незагађених земљишта, уз нешто повећане садржаје за елементе: Ni, As и Cr.

Према утврђеном хемијском саставу испитивани пепео термоелектране може се делимично третирати као повољан супстрат за гајење биљака, јер има доста особина плодног супстрата, нема вишка соли и растворљивих токсичних елемената, али је неопходно да се појачаним и чешћим ђубрењем отклони велики недостатак азота и допуни недовољан садржај фосфора, што је и учињено при заснивању травног покривача.

Садржај макрохранљивих елемената у испитиваним травним врстама, уз већа варирања због нехомогености овог супстрата, кретао се око уобичајених вредности за траве (табела 5).

**Табела 4.** Приступачни садржај микроелемената у пепелу

Узорци	B	Co	Cr	Pb	Ni	Cd	As	Hg
1	0,1	1,5	7,0	0,5	11,2	0,2	2,9	< 0,01
2	0,3	1,4	4,0	0,3	8,9	0,1	0,7	"
3	1,4	2,1	4,6	0,0	11,4	0,3	0,5	"
4	0,2	0,8	2,2	0,3	5,6	0,1	2,8	"
5	0,7	1,9	5,5	0,0	11,4	0,3	0,3	"
5 <sub>a</sub>	3,5	1,9	2,5	0,0	9,7	0,3	0,4	"
Просек	1,0	1,6	4,3	0,2	9,7	0,2	1,3	< 0,01

**Табела 5.** Садржај основних биљних хранива у гајеним биљкама (mg/kg суве масе)

Узорак	Биљна врста	N	P	K	Ca	Mg
1	<i>Lotus corniculatus</i>	2,15	0,22	3,96	0,23	0,05
2		2,39	0,15	3,36	0,30	0,07
3		2,44	0,22	2,88	0,32	0,05
4		1,75	0,11	2,64	0,32	0,06
Просек		2,18	0,18	3,21	0,29	0,06
1	<i>Cirsium arvense</i>	1,53	0,15	4,44	1,18	0,04
2		1,91	0,19	6,54	1,07	0,21
3		1,47	0,25	4,68	0,93	0,08
4		2,26	0,14	5,64	0,94	0,20
5		1,74	0,17	4,92	1,59	0,27
Просек	1,78	0,18	5,24	1,14	0,16	
1	<i>Festuca rubra</i>	0,55	0,06	0,72	0,10	0,01
2		0,84	0,08	1,32	0,10	0,05
3		0,77	0,08	1,36	0,26	0,09
4		1,24	0,06	1,80	0,11	0,03
5		1,11	0,17	2,94	0,24	0,14
Просек	0,90	0,09	1,61	0,16	0,06	
1	<i>Sorghum vulgare</i> var. <i>sudanense</i>	0,97	0,13	2,22	0,32	0,14
2		1,37	0,15	2,16	0,12	0,01
3		1,04	0,14	2,16	0,39	0,25
4		1,65	0,15	3,12	0,18	0,04
5		0,90	0,08	1,50	0,16	0,06
Просек	1,19	0,13	2,23	0,23	0,10	

У саставу трава највише је било К и Са, док су нешто мање били заступљени елементи: N, P и Mg. То нам указује да су биљке трава узимале довољне количине макрохранљивих елемената, било да они долазе из додатих ђубрива, било да се налазе у саставу пепела.

Констатовано је да је садржај корисних микроелемента Со и В задовољавајући

(табела 6) и да одговара вредностима у оквирима нормалним за биљке (Kabata Pendias end Pendias, 2000).

Садржај потенцијално штетних микроелемената: Cr, Pb, Ni, Cd, As и Hg је био у дозвољеним границама за биљке (Klok et al., 1984). Само у појединим случајевима су нађени нешто повећани садржаји (иако изнад уобичајених вредности) за елементе As и Ni.

Табела 6. Садржај тешких метала у гајеним биљкама (mg/kg суве материје)

Узорак	Биљна врста	B	Co	Cr	Pb	Ni	Cd	As	Hg
1	<i>Lotus corniculatus</i>	11	1	1,1	1,2	5	0,20	0,6	< 0,1
2		36	3	0,9	0,7	11	0,20	0,9	"
3		14	2	1,2	0,3	4	0,20	2,0	"
4		43	6	1,7	0,3	10	0,30	2,5	"
Просек		26	3	1,2	0,6	8	0,23	1,5	< 0,1
1	<i>Cirsium arvense</i>	18	3	1,6	1,2	4	0,20	1,2	< 0,1
2		68	2	0,9	0,4	6	0,30	0,3	"
3		18	3	0,8	0,2	5	0,25	2,6	"
4		89	2	1,1	0,1	7	0,30	2,9	"
5		64	2	1,2	0,7	4	0,50	3,4	"
Просек	51	2	1,1	0,5	5	0,31	2,1	< 0,1	
1	<i>Festuca rubra</i>	4	4	0,1	0,5	2	0,10	0,6	< 0,1
2		5	3	0,1	0,5	4	0,05	0,4	"
3		18	2	0,1	0,8	1	0,20	1,4	"
4		16	4	0,1	1,9	1	0,15	1,1	"
5		14	6	0,6	1,5	6	0,15	2,0	"
Просек	11	4	0,2	1,0	3	0,13	1,1	< 0,1	
1	<i>Sorghum vulgare var. sudanense</i>	17	1	0,3	0,5	1	0,10	0,7	< 0,1
2		9	1	0,4	1,7	2	0,05	0,7	"
3		16	5	0,7	0,9	3	0,25	1,8	"
4		9	4	0,6	1,6	7	0,10	0,9	"
5		8	5	0,5	0,4	4	0,10	1,7	"
Просек	12	3	0,5	1,0	3	0,12	1,2	< 0,1	

## ЗАКЉУЧАК

Раст и развиће испитиваних врста трава на депонији пепела и шљаке ограничен је недостатком азота и недовољном количином фосфора испитиваног супстрата. Ова ограничења могу се отклонити појачаним ђубрењем применом минералних ђубрива са већим уделом азотне и фосфорне компоненте. Повећање плодности супстрата могуће је остварити применом органских ђубрива.

Гајење биљака траве ради фиксирања пепела изведено је са успехом, а саме биљке су садржале нормалне количине макрохранљивих и микрохранљивих елемената, док је садржај потенцијално токсичних микроелемената био у граници дозвољених вредности.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Adriano D. C., Page A. L., Elsewi A. A., Chang A. C., Straughan I, "Utilization of fly ash and other coalresidues in ferrestial ecosystems", arevieno J. Environ. Qval. 9, pp. 333, 1980
2. Adriano D. C., Weber J. T., "Influence of fly ash on soil physical properties and turfgrass establishment", J. Environ, Qval. 30, pp. 596–601, 2001
3. Антоновић Г. М., „Оштећење земљишта и проблеми његове заштите“, „Земљиште и биљка“, Vol 29, No 2, Београд, 1980.
4. El-Magazi D., Lisk D. J., Weinstem L. H. , "Adriano of physical, chemical and

- biological properties of fly ash and effect on agricultural ecosystems“, *Sci. Tot. Environ.* 74, pp. 1–37, 1988
5. Kobata-Pendias A., Pendias H., “Trace elements in soils and plants“, CRC Press, Boca Roton, Florida, pp. 315, 1984
  6. Kloke A., Vetter H., Sonerbeck D., “The contamination of plants and soil with heavy metals and the transport of metals in terrestrial food chain“, *Shanging Metal cycles and Humson Health*, 1984
  7. Kostić N., Wilson M., Jakovljević M., Stevanović D., “Chemical and mineralogical studies of some Yugoslav deposols in relation to their possible agrocultural use“, *J. Environ. Sci. Health*, A3 (7), pp. 1575–1594, 1996
  8. Максимовић С, Цокић З., Перовић В, Кисић Д., „Садржај тешких метала у најзаступљенијим травним врстама на депонији пепела ТЕНТА“, Међународна конференција „Отпадне воде, комунални чврсти отпад и опасан отпад“, Крушевац, 2–5. април 2007.
  9. Pavlović P., Mitrović M., Đorđević L. “An ecophysiological Study of Plants Grouzing on the Fly Ash Deposity from the 'Nikola Tesla A' Thermal Power Station in Serbia“, *Enviroumental Management*, Vol. 33, No5, pp. 654–663
  10. Schurre M. R., Soltys P. A., Natusch D. F. S., Mauney T., “Surface area and porosity of coal tly ash“, *Environ. Sci. Tehnol.* 19, pp. 82–86, 1985
  11. Симић С., Филиповић Р., Лазаревић М., „Могућност производње садница тополе и тамариха на депонијама пепела уз истовремену заштиту депоније“, „Земљиште и биљка“, Vol. 29 (2), pp.201–209, Београд, 1980.