

**BIOAKUMULACIJA Pb I Cd U ZEMLJIŠTIMA LIVADSKIH ZAJEDNICA  
AGROSTIETUM CAPILLARIS (Z. PAVLOVIĆ 1955) NA PODRUČJU ZLATARA I  
STARE PLANINE**

**BIOACCUMULATION OF Pb AND Cd IN SOILS OF MEADOW ASSOCIATIONS  
AGROSTIETUM CAPILLARIS (Z. PAVLOVIĆ 1955) ON ZLATAR AND STARA  
PLANINA**

BELANOVIĆ SIMIĆ Snežana<sup>1</sup>, ČAKMAK Dragan<sup>2</sup>, BELOICA Jelena<sup>1</sup>, OBRATOV-  
PETKOVIĆ Drgaica<sup>1</sup>, KADOVIĆ Ratko<sup>1</sup>, MILJKOVIĆ Predrag<sup>1</sup>, LUKIĆ Sara<sup>1</sup>, MARKOVIĆ  
Djurdjia<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Faculty of forestry, Belgrade University, 1 Kneza Višeslava, Belgrade, Serbia

<sup>2</sup> Institute for Biological Research "Sinisa Stankovic", University of Belgrade, Bul. Despota Stefana 142, 11060  
Belgrade Serbia

\*Corresponding author: Belanović Simić Snežana, [snezana.belanovic@sfb.bg.ac.rs](mailto:snezana.belanovic@sfb.bg.ac.rs)

**IZVOD**

**ABSTRACT**

Biopristupačnost i mobilnost mikroelemenata u zemljištu zavise kako od koncentracije mikroelemenata i njihovih međusobnih odnosa, tako i od svojstava zemljišta i načina korišćenja. U ovom radu cilj je bio da se prikaže sadržaj Pb i Cd u zemljištima livadskih zajednica *Agrostietum capillaris* (Z. Pavlović 1955) na području Zlatara i Stare planine, njihov faktor translokacije i bioakumulacije. Na proučavanim područjima uzorkovana su zemljišta po fiksnim dubinama, 0-5, 5-10, 10 -20 and 20 - 40 cm u četiri ponavljanja. Sadržaji mikroelemenata mereni su AAS. Sadržaji štetnih mikroelemenata u zemljištu su niži ili su u granicama dozvoljenih graničnih vrednosti. Na osnovu faktora translokacije i faktora biakumulacije zaključuje se o usvajanju Pb i Cd iz zemljišta u ledinu livadske zajednice kao i o premeštanju u nadzemne izdanke.

*Ključne reči:* biakumulacioni faktor, faktor translokacije, Pb, Cd, zajednica *Agrostietum capillaris* (Z. Pavlović 1955).

## UVOD

## INTRODUCTION

Različiti biotički i abiotički procesi utiču na sadržaj mikroelemenata u zemljištu i njihovu pristupačnost biljkama (Adriano, 2001). Mnoge biljne vrste imaju kapacitet akumulacije kako biogenih tako i toksičnih elemenata, a usvojena količina zavisi kako od vrste biljaka tako i od zemljišnih svojstava (Vrbničanin, et al., 2004). Uticaj mikroorganizama i eksudata korenja biljaka utiču na rastvorljivost i transport mikroelemenata i njihovih jedinjenja. Bioakumulacija prirodno varira između vrsta a mehanizmi usvajanja putem korena uključuju nekoliko procesa: uticaj zone rizosfere, usvajanje jona iz zemljišnog rastvora korenovim sistemom, transport unutar ćelije helatnim jedinjenjima (Kabata – Pendias i Pendias, 2001). Pored usvajanja iz zemljišta biljke indirektno putem folijarne apsorpcije usvajaju metale iz vazduha (de Vries i Bakker, 1996). Mikroelementi usvojeni putem lišća mogu se premestiti u druge biljne organe uključujući i koren (Kabata – Pendias i Pendias, 2001). Olovo i kadmijum, uglavnom antropogeni polutanti iz različitih izvora, u većim koncentracijama ulaze u lanac ishrane sa toksičnim posledicama (Aslam, et al., 2015). Stoga su informacije o usvajanju Pb i Cd značajne za dalja proučavanja kruženja mikroelemenata, pre svega zbog njihove kompeticije prilikom usvajanja kada su u zemljišnom rastvoru. Bioakumulacija se često izražava bioakumulacionim faktorom koji predstavlja odnos koncentracije metala u organima i medijumu u kojem se organizam nalazi (Kabata – Pendias i Pendias, 2001).

Cilj ovog rada je da se utvrdi stepen usvajanja i premeštanja Pb i Cd u livadskoj zajednici *Agrostietum capillaris* (Z. Pavlović 1955) u prirodnim uslovima na području Zlatara i Stare planine.

## METOD I MATERIJAL RADA

## MATERIALS AND METHODS

### Područje proučavanja

Proučavanja su vršena u visokoplaninskim zajednicama rosulje, *Agrostietum capillaris* Z. Pavlović 1955, na Zlataru - lokalitet Vodena poljana i na Staroj planini - lokalitet Javor (Tabela 1.).

Izabran tip livadske zajednice je široko rasprostranjen u visokoplaninskom pojasu Srbije i to na Kopaoniku, Rudniku, Suvoj planini, Staroj planini, Ozrenu kod Sjenice, Pešterskoj visoravni i dr. Analiza florističkog sastava na oba lokaliteta pokazuje da zajednicu čine heterogene vrste iz više šumskih zajednica, kao i da se u okviru nje same razlikuje nekoliko spratova. Prvi sprat na

Zlataru zauzimaju edifikatorske vrste *Agrostis capillaris*, *Festuca rubra* subsp. *fallax* koje ovaj sprat čine pretežno jednoličnim. U nižim spratovima dinamika je veoma burna, a kako se prostire u zoni smrčevih šuma, zajednicu čine heterogene vrste najviše iz zone smrčevih šuma a odlikuje se brzim smenjivanjem aspekata. Nastanak zajednice određen je zooantropogenim faktorima.

Na području Stare planine ovu zajednicu takođe karakterišu *Agrostis capillaris*, *Festuca valesiaca*, *Centaurea phrygia*, *Festuca arundinacea*, *Galium verum* i *Helianthemum nummularium*.

**Tabela 1.** Osnovne karakteristike proučavanih lokaliteta

**Table 1.** Main characteristics of studied area

Lokalitet	Geografski položaj	Površina, nadmorska visina, ekspozicija	Tip zemljišta/matični supstrat	Pašarenje
Zlatar – Vodena poljana	7404260-4807621	5.2 ha 1438-1470 mnm, E	Leptosol, Cambisol/ rožnaci	Ekstenzivno zastupljeno
	7404253-4807481			
	7404135-4807589			
	7404151- 4807453			
Stara planina – Javor	7651538- 4790115	8.1 ha 1275-1428 mnm, W-SW	Leptosol, Cambisol/ škriljci	Bez mera upravljanja
	7651767- 4790221			
	7652007- 4790285			
	7652129- 4790348			

### Proučavanja zemljišta

Na području proučavanja uzeti su uzorci po fiksnim dubinama 0-10 cm i 10-20 cm dokle se prostire osnovna masa livadske zajednice. Uzorci zemljišta su vazdušno sušeni i prosejani kroz sito od 2mm. Reakcija zemljišnog rastvora određena je elektrometrijski u vodi iz rastvora 1:5 zemljište rastvor. Mehanički sastav zemljišta određen je internacionalnom pirofosfatnom B metodom (JDPZ, 1997). Ukupan organski ugljenik određen je metodom po Tjurinu, dok je adsorptivni kompleks određen po metodi Kappen-a (JDPZ,1966). Ukupan sadržaj azota meren je po metodi Kjeldahl-a, određivanje lakopristupačnog kalijuma i fosfora u zemljištu, vršeno je po metodi Egner - Riehm a zasniva se na ekstrakciji lakopristupačnog fosfora i kalijuma (JDPZ,1966). Lakopristupačni sadržaji fosfora su određeni kolorimetrijski a kalijuma plamenfotometrijski. Ukupni sadržaji Pb i Cd, mereni su atomskom apsorpcionom spektrofotometrijom (AAS na aparatu Thermo Electron Corporation, Cambridge, UK), a priprema uzoraka vršena je ekstrakcijom HCl i HNO<sub>3</sub> (u odnosu 3:1). Poređenje utvrđenih sadržaja Pb i Cd u zemljištu vršeno

je u odnosu na granične vrednosti sadržaja mikroelemenata prema Uredbi o programu sistematskog praćenja kvaliteta zemljišta, indikatorima za ocenu rizika od degradacije zemljišta i metodologiji za izradu remedijacionih programa R Srbije ("Sl. glasnik RS", br. 88/2010; mg·kg<sup>-1</sup>: Pb - 85, Cd - 0,8).

### **Uzorkovanje biomase i analiza sadržaja Pb i Cd u biomasi**

Uzorkovanje biomase vršeno je prema IPCC Guidelines, LULUCF, 2003 (Tier 2 metoda). Uzorkovanje nadzemne biomase vršeno je prema IPCC, LULUCF, 2003 i SOP#2034 (Standard operating procedures – Plant biomass determination #2034). Uzorkovanje podzemne biomase vršeno je metodom cilindra (Ravindranath i Ostwald, 2008). Prosečni uzorci nadzemne i podzemne biomase su sušeni na 105<sup>0</sup>, zatim samleveni a priprema i određivanje sadržaja Pb i Cd vršeno je na isti način kao što je prethodno opisano za zemljište.

### **Statističke i matematičke metode**

Za statističke analize primenjen je SPSS softver (version 15). Značajnost korelacija između proučavanih štetnih mikroelemenata je analizirana pomoću Pirsonove korelacione matrice (Pearson correlation matrix).

*Translokacioni factor (TF)* je određen kao odnos:  $TF = C_{shoot}/C_{root}$

gde su:  $C_{shoot}$  i  $C_{root}$  koncentracije metala u mg·kg<sup>-1</sup>, u izdancima i korenju biljka.

$TF > 1$  pokazuje efikasnu translokaciju metala do izdanaka iz korena (Baker i Brooks, 1989; Zhang et al., 2002, Rezvani i Zaefarian, 2011).

Takođe određen je i translokacioni faktor za sadržaje metala u korenu i zemljištu kao:

$TF = C_{root}/C_{soil}$

gde su:  $C_{root}/C_{soil}$  koncentracije metala u mg·kg<sup>-1</sup>, u korenju biljka i sadržaji u zemljištu.

*Bioakumulacioni factor (BAF)* je određen kao odnos:  $BAF = C_{shoot}/C_{soil}$

gde su:  $C_{shoot}$  i  $C_{soil}$  koncentracije metala u mg·kg<sup>-1</sup>, u izdancima biljkaka i u zemljištu.

Bioakumulacioni faktor ukazuje na mogućnosti akumulacije metala od strane biljaka kao hiperakumulatora, tako da ukoliko je  $BAF > 1$  biljke imaju veće mogućnosti ekstrakcije metala (Ma et al., 2001; Rezvani i Zaefarian, 2011).

**REZULTATI****RESULTS**

Prosečne vrednosti osnovnih hemijskih svojstva proučavanih zemljišta do 20 cm dubine na lokalitetu Zlatar (Vodena poljana) i lokalitetu Stara planina (Javor) prikazani su u tabeli 2.

Proučavana zemljišta na oba lokaliteta prema teksturnoj klasi uglavnom su u klasi ilovača. Prema hemijskim svojstvima, zemljište - Leptosol (humusno silikatnog zemljišta- profil 1) na području Zlatara karakteriše se jako do umereno kisele reakcije, beskarbonatno, nezasićeno baznim katjonima, sadržaj humusa kreće se 2,66 – 13,29%, dok se sadržaj ukupnog azota kreće u granicama bogatog do vrlo bogatog.

**Tabela 2.** Prosečne vrednosti osnovnih hemijskih svojstava zemljišta do 20 cm dubine

**Table 2.** Average values of main chemical properties in 0-20 cm soil depth

Profili	pH		T cmol·kg <sup>-1</sup>	V %	C %	N %	C/N	lakopristupacni	
	H <sub>2</sub> O	CaCl <sub>2</sub>						P	K
Zlatar									
1 - Leptosol	5.56	4.73	31.99	47.46	5.15	0.48	10.09	1.10	9.10
2 - Cambisol	5.12	4.15	38.59	29.85	5.88	0.57	10.16	0.85	32.20
3 - Cambisol	5.29	4.31	27.35	35.54	2.89	0.28	10.20	0.00	7.35
4 - Cambisol	5.06	4.18	34.52	26.14	5.58	0.39	14.77	1.08	10.30
Stara planina									
1 - Leptosol	5.32	4.50	38.36	38.68	6.18	0.65	9.54	0.50	19.15
2 - Cambisol	5.39	4.62	40.92	41.10	6.03	0.62	9.82	0.69	13.35
3 - Leptosol	5.08	4.34	47.18	30.76	8.39	0.69	12.42	2.30	34.15
4 - Leptosol	4.98	4.26	53.22	27.78	10.12	0.86	11.73	0.83	15.55

Zemljište je siromašno lakopristupačnim fosforom i kalijumom, osim u površinskom sloju 0-10 cm, gde je utvrđena srednja obezbeđenost kalijumom. Na području Zlatara tri profila su opisana kao Cambisol (kiselu smeđe zemljište na rožnacu) koja se kao i Leptosol karakterišu jako kiselom reakcijom, bezkarbonatna, nezasićena bazama, humusom bogata u površinskim slojevima i veoma bogata ukupnim azotom. Obezbeđenost zemljišta lakopristupačnim fosforom je veoma slaba, a kalijumom su snabdevena.

Na području Stare planine proučena su tri profila Leptosola (humusno silikatnog zemljišta - profili 1,3,4) koja su vrlo jako do jako kisele reakcije, beskarbonatna, nezasićena bazama. Sadržaj humusa je visok kao i sadržaji ukupnog azota, dok su prema sadržaju lakopristupačnog fosfora ova zemljišta slabo obezbeđena a lakopristupačnim kalijumom srednje do dobro obezbeđena.

Cambisol (kiselo smeđe zemljište) proučeno je u profilu 2, i prema reakciji je jako kiselo, bogato humusom i veoma bogato ukupnim azotom. Sadržaji lakopristupačnog fosfora su niski, a kalijuma u granicama slabe do srednje obezbeđenosti.

U tabeli 3, prikazani su prosečni sadržaji Pb i Cd u sloju do 20 cm proučavanim zemljištima. Izmereni sadržaji Pb u zemljištima na oba lokaliteta niži su od graničnih vrednosti. Međutim sadržaji izmereni na području Zlatara su statistički značajno veći ( $p < 0,05$ ) od sadržaja Pb izmerenih na lokalitetu na Staroj planini. Sadržaji Cd na proučavanom području su niži od graničnih, osim u dva proučavana profila na području Zlatara gde su viši od graničnih vrednosti.

**Tabela 3.** Prosečni sadržaji Pb i Cd u proučavanim zemljištima

**Table 3.** Average content of Pb and Cd in studied soils

Profil	Zlatar		Stara planina	
	Pb, mg·kg <sup>-1</sup>	Cd, mg·kg <sup>-1</sup>	Pb, mg·kg <sup>-1</sup>	Cd, mg·kg <sup>-1</sup>
1	59.07	1.08	24.83	0.09
2	39.62	0.14	17.77	0.09
3	37.71	0.91	26.36	0.127
4	49.25	0.22	34.65	0.152
Sr. ± s.d.	46.41a ± 8.52	0.59* ± 0.413	25.90b ± 6.0	0.12* ± 0.02

Iako su sadržaji Cd u zemljištima na Zlataru viši od izmerenih sadržaja u zemljištima na Staroj planini razlike nisu statistički značajne ( $p > 0,05$ ).

Prosečne koncentracije Pb i Cd u nadzemnoj i podzemnoj biomasi proučavane livadske zajednice prikazani su u tabeli 4.

**Tabela 4.** Prosečne koncentracije Pb i Cd u biomasi, prosečna količina nadzemne biomase i gustina korena na proučavanim lokalitetima

**Table 4.** Average concentrations of Pb and Cd in biomass, average aboveground biomass and root density

		Zlatar	Stara planina
Nadzemna biomasa	Količina, kg·m <sup>-2</sup>	0,36a±0,04	0,47a±0,07
	Pb, mg·kg <sup>-1</sup>	1,29a±0,29	0,69a±0,31
	Cd, mg·kg <sup>-1</sup>	0,63a±0,37	0,21a ±0,10
Podzemna biomasa	Gustina korena kg·m <sup>-3</sup>	16,91a± 7,624	8,39b ± 4,273
	Pb, mg·kg <sup>-1</sup>	19,47a±16,57	12,97a±5,61
	Cd, mg·kg <sup>-1</sup>	2,89a± 1,79	1,26a±0,35

Izmerene prosečne koncentracije Pb i Cd u ukupnoj nadzemnoj i podzemnoj biomasi veće su na području Zlatara, ali razlike nisu statistički značajne. Manje prosečne količine nadzemne biomase

izmerene su na području Zlatara ali bez statistički značajne razlike, dok su na istom području statistički značajno veće prosečne količine podzemne mase. Znatno veća gustina korena na lokalitetu na Zlataru verovatno je posledica ekstenzivnog pašarenja, za razliku od lokaliteta na Staroj planini gde nema antropogenih aktivnosti. Vrednosti translokacionog faktora i bioakumulacionog faktora za Pb i Cd u proučavanoj livadskoj zajednici prikazane su u tabeli 5 i 6.

Faktor translokacije za sadržaj Pb između nadzemne i podzemne biomase, kao i između podzemne biomase i zemljišta, na oba lokaliteta niži je od 1. Bioakumulacioni faktor za Pb na oba lokaliteta iznosi  $0,03 \pm 0,01$ , što je znatno niže od 1.

**Tabela 5.** Vrednosti translokacionog faktora i bioakumulacionog faktora za Pb

**Table 5.** Values of Pb translocation and bioaccumulation

	Polje	TF		BAF
	Odnos konc.	Nadz/podzemna	Podzemna/zemljište	Nadzemna/zemljište
Zlatar	1	0.029	0.776	0.023
	2	0.075	0.474	0.036
	3	0.122	0.338	0.041
	4	1.564	0.010	0.016
	Sr. $\pm$ s.d.	<b>0.45 <math>\pm</math> 0.64</b>	<b>0.40 <math>\pm</math> 0.27</b>	<b>0.03 <math>\pm</math> 0.01</b>
Stara planina	1	0.067	0.0271	0.018
	2	0.038	0.489	0.018
	3	0.070	0.595	0.041
	4	0.043	0.600	0.026
	Sr. $\pm$ s.d.	<b>0.05 <math>\pm</math> 0.01</b>	<b>0.43 <math>\pm</math> 0.23</b>	<b>0.03 <math>\pm</math> 0.01</b>

**Tabela 6.** Vrednosti translokacionog faktora i bioakumulacionog faktora za Cd

**Table 6.** Values of Cd translocation and bioaccumulation

	Polje	TF		BAF
	Odnos konc.	Nadz/podzemna	Podzemna/zemljište	Nadzemna/zemljište
Zlatar	1	0.185	2.943	0.546
	2	0.240	8.815	2.120
	3	0.217	6.290	1.365
	4	0.265	6.472	1.718
	Sr. $\pm$ s.d.	<b>0.22 <math>\pm</math> 0.03</b>	<b>6.13 <math>\pm</math> 2.09</b>	<b>1.44 <math>\pm</math> 0.58</b>
Stara planina	1	0.167	6.952	1.158
	2	0.089	15.53	1.390
	3	0.238	11.62	2.762
	4	0.188	9.120	1.713
	Sr. $\pm$ s.d.	<b>0.17 <math>\pm</math> 0.05</b>	<b>10.81 <math>\pm</math> 3.19</b>	<b>1.75 <math>\pm</math> 0.61</b>

Faktor translokacije za sadržaj Cd između nadzemne i podzemne biomase na oba lokaliteta niži je od 1. Međutim faktor translokacije za Cd između podzemne biomase i zemljišta veći je od 1, i to prosečno na području Stare planine 10,8 a na području Zlatara 6,13. Bioakumulacioni faktor za Cd na oba lokaliteta nešto veći je od 1, i to na području Stare planine iznosi  $1,75 \pm 0,61$  a na području Zlatara  $1,44 \pm 0,58$ .

**Tabela 7.** Koeficijent korelacije svojstava zemljišta i sadržaja Pb i Cd u zemljištu i u biomasi na Zlataru

**Table 7.** Correlation coefficient of soil parameters and content of Pb and Cd in soil and biomass in Zlatar

	pH	OC	T	Zemljiste Pb	Zemljiste Cd	Nadzemna Pb	Nadzemna Cd	Podzemna Pb	Podzemna Cd
pH	1	-,285	-,493	,593	<b>,916</b>	,484	,355	,901	,496
OC		1	<b>,920</b>	,398	-,625	-,544	<b>-,997**</b>	,083	<b>-,974*</b>
T			1	,020	<b>-,800</b>	-,346	-,938	-,079	-,947
Zemljiste Pb				1	,389	-,382	-,338	,607	-,225
Zemljiste Cd					1	,506	,681	,660	,783
Nadzemna Pb						1	,561	,478	,616
Nadzemna Cd							1	-,013	<b>,988*</b>
Podzemna Pb								1	,143
Podzemna Cd									1

\*\* . p<0,01

\* . p<0,05

**Tabela 8.** Koeficijent korelacije svojstava zemljišta i sadržaja Pb i Cd u zemljištu i u biomasi na Staroj planini

**Table 8.** Correlation coefficient of soil parameters and content of Pb and Cd in soil and biomass in Stara planina

	pH	OC	T	Zemljiste Pb	Zemljiste Cd	Nadzemna Pb	Nadzemna Cd	Podzemna Pb	Podzemna Cd
pH	1	<b>-,981*</b>	-,940	<b>-,905</b>	<b>-,981*</b>	<b>-,906</b>	-,824	<b>-,957*</b>	-,314
OC		1	<b>,982*</b>	<b>,904</b>	<b>,999**</b>	,823	,753	<b>,987*</b>	,385
T			1	<b>,818</b>	<b>,987*</b>	,780	,753	<b>,998**</b>	,541
Zemljiste Pb				1	,887	,688	,519	,826	-,041
Zemljiste Cd					1	,834	,774	<b>,992**</b>	,419
Nadzemna Pb						1	<b>,967*</b>	,817	,362
Nadzemna Cd							1	,787	,563
Podzemna Pb								1	,527
Podzemna Cd									1

\*\* . p<0,01

\* . p<0,05



Utvrđene su statistički značajne korelacije između sadržaja Cd u zemljištu i pH ( $r=-0,981^*$ ), sadržaja organskog ugljenika ( $r=0,999^{**}$ ) i totalnog kapaciteta adsorpcije ( $r=0,987^*$ ) na Staroj planini. I na Zlataru postoje korelacije između sadržaja Cd i pomenutih svojstava zemljišta, ali nemaju statistički značaj. Na Staroj planini sadržaj Pb u zemljištu takođe je u jakoj korelacionoj vezi sa svojstavima zemljišta (pH, sadržajem organskog C i kapacitetom adsorpcije), ali ne i statistički značajnoj. Međutim, na istom lokalitetu utvrđena je značajna veza između sadržaja Pb u podzemnoj biomasi i svojstava zemljišta (tabela 8).

## DISKUSIJA

## DISCUSSIONS

Proučavana zemljišta (na rožnacima – Zlatar, i na škriljcima – Stara planina) karakterišu se različitim sadržajima Pb i Cd. Sadržaji Pb i Cd u proučavanim zemljištima na oba lokaliteta su niži od graničnih vrednosti (\*2010), ali su prosečni sadržaji Pb statistički značajno veći na području Zlatara. U zavisnosti od svojstava zemljišta i porekla, mikroelementi se vezuju za zemljišne komponente u različitim hemijskim formama (Čakmak, et. al., 2010). Na osnovu podataka o prekograničnoj depoziciji Pb i Cd po kvadrantima EMEP mreže (Kadović, Knežević, 2004) ukupna depozicija Pb na području Zlatara se kretala  $1,6 - 2,2 \text{ kg.km}^{-2}.\text{god}^{-1}$ , a na području Stare planine  $1,2 - 1,6 \text{ kg.km}^{-2}.\text{god}^{-1}$ , dok su se depozicije za Cd na području Zlatara ( $47,8 \text{ g.km}^{-2}.\text{god}^{-1}$ ) niže u odnosu na depozicije Cd na području Stare planine ( $76,6 \text{ g.km}^{-2}.\text{god}^{-1}$ ). Depozicije su se naravno, menjale tokom godina, ali je činjenica da su veće depozicije Pb na Zlataru uticale na statistički značajne razlike u sadržaju Pb u zemljištu. Ukupne depozicije Cd su veće na Staroj planini, međutim nisu statistički značajno uticale na sadržaje kadmijuma u zemljištu.

U proučavanim livadskim zajednicama nema statistički značajne razlike u sadržajima Pb i Cd koji su usvojeni u nadzemnoj i podzemnoj biomasi između lokaliteta na Zlataru i Staroj planini.

Sadržaji Pb u nadzemnoj biomasi na oba proučavana lokaliteta su u granicama prirodnih koncentracija Pb koje se prema Kabata – Pendias i Pendias (2001) kreće u opsegu  $0,1 - 10 \text{ mg.kg}^{-1}$ . Prema istim autorima prosečne vrednosti Pb u travama i leguminozama se kreću od 2,4 do 7,8  $\text{mg.kg}^{-1}$  u Nemačkoj, od 1 do 9  $\text{mg.kg}^{-1}$  u Velikoj Britaniji, a u Poljskoj od 0,01 do 35  $\text{mg.kg}^{-1}$ . Sadržaji Pb u podzemnoj biomasi su iznad granice prirodnih koncentracija, i to veće koncentracije Pb u podzemnoj biomasi izmerene su na području Zlatara ( $19,47 \pm 16,57$ ) gde su i u zemljištu

izmerene statistički veće koncentracije Pb. Olovo se na oba lokaliteta akumulira u podzemnoj biomasi na šta ukazuje i translokacioni koeficijent između podzemne i nadzemne biomase ( $TF < 1$ ) na oba lokaliteta i statistički se ne razlikuje, ali na području Zlatara je veći. Veći sadržaji Pb u podzemnoj biomasi na području Zlatara su verovatno posledica veće koncentracije pristupačnih oblika olova koje je poreklom iz prekogranične depozicije (Kabata – Pendias i Pendias, 2001). Vegetacija ima sposobnost da usvaja Pb iz zemljišta i iz vazduha, ali se misli da je Pb metal koji se uglavnom akumulira u tkivu korena (Kabata – Pendias i Pendias, 2001, Aslam, et al., 2015), što je u saglasnosti sa dobijenim rezultatima u proučavanoj zajednici *Agrostietum capillaris* (Z. Pavlović 1955) na području Zlatara i Stare planine. Prema Adrianu (2001) mobilnost Pb u zemljištu je uslovljena formiranjem rastvorljivih organskih kompleksa, prilikom čega raspadanje organske materije u zemljištu povećava bioraspoloživost metala. To potvrđuje značajna korelacija između sadržaja Pb u podzemnoj biomasi i svojstava zemljišta (sadržaj organske materije, pH vrednost i kapacitet adsorpcije) na području Stare planine, a pristupačnost Pb je u zavisnosti, pre svega, od pH vrednosti zemljišta (Kabata – Pendias i Pendias, 2001). Iako pH vrednost zemljišnog rastvora na proučavanim lokalitetima nije statistički značajno različita, veći uticaj na sadržaj Pb pokazuju svojstva zemljišta na području Stare planine (Belanović i sar., 2012). U istraživanjima Vrbničanin, et.al., (2004) za pojedine biljke (nadzemni i podzemni delovi zajedno) u zajednici *Agrostietum capillaris* (Z. Pavlović 1955) na području Stare planine izmereni sadržaji Pb su u opsegu od 0,99 do 3,5 mg.kg<sup>-1</sup>.

Prisustvo Pb u zoni rizosfere može da utiče na usvajanje Cd od strane biljaka (Kabata – Pendias i Pendias, 2001). Mada, prema drugim istraživanjima, međusobni uticaji ovih elemenata su mali kada su im koncentracije niske (Aslam, et al., 2015).

Kadmijum se, kao i olovo, aktivno usvaja kako putem korena tako i folijarno, a razlike su uslovljene specifičnostima vrsta (Pavlova i Karadjova, 2013). Kabata – Pendias i Pendias (2001) navode da se koncentracije Cd u travama i leguminozama kreću od 0,03 do 1,26 mg.kg<sup>-1</sup> u Nemačkoj, od 0,05 do 1,25 mg.kg<sup>-1</sup> u Poljskoj. Takođe navode, da pH vrednost zemljišta utiče na usvajanje Cd i da je najveće usvajanje pri pH 4,5 – 5,5, kao i prisustvo niskomolekularnih organskih kiselina u rizosferi koje utiču na mobilnost i fitoakumulaciju Cd. Kadmijum se u obliku metalo-organskih kompleksa lako transportuje kroz biljke (Kabata – Pendias i Pendias, 2001,

Adriano, 2001). Tako se Cd dobrim delom akumulira u korenu biljaka čak i kada je usvojen folijarno. Zanimljivo je da je za proučavanu livadsku zajednicu na oba lokaliteta visok faktor translokacije između podzemne biomase i zemljišta, a faktor bioakumulacije veći od 1 što ukazuje da se kadmijum usvaja uglavnom preko korena, a zatim transportuje u nadzemne delove. Statistički značajna korelacija između sadržaja Cd u nadzemnoj i podzemnoj biomasi ( $r=0,988$ ) na području Zlatara govori tome u prilog. Iako je Cd mobilniji od Pb u biljkama imobilise se u ćelijama korena u nezagađenim područjima (Walley, 2005).

## ZAKLJUČAK

## CONCLUSIONS

U radu je prikazan sadržaj Pb i Cd u zemljištima i biomasi livadske zajednice *Agrostietum capillaris* (Z. Pavlović 1955) na području Zlatara i Stare planine, kao i faktor translokacije i bioakumulacije ovih elemenata. Sadržaji Pb i Cd u proučavim zemljištima na oba lokaliteta su niži od graničnih vrednosti (\*2010), ali su prosečni sadržaji Pb statistički značajno veći na području Zlatara. U proučavanim livadskim zajednicama nema statistički značajne razlike u sadržajima Pb i Cd koji su usvojeni u nadzemnoj i podzemnoj biomasi između lokaliteta na Zlataru i Staroj planini. Olovo se na oba lokaliteta akumulira u podzemnoj biomasi na šta ukazuje i translokacioni koeficijent između podzemne i nadzemne biomase koji je manji od 1 na oba lokaliteta. Za proučavanu livadsku zajednicu na oba lokaliteta utvrđen je visok faktor translokacije Cd između podzemne biomase i zemljišta, a faktor bioakumulacije Cd veći je od 1, što ukazuje da se kadmijum usvaja uglavnom preko korena, a zatim transportuje u nadzemne delove.

## LITERATURA

## REFERENCES

- Adriano D.C. 2001. Trace Elements in Terrestrial Environments: Biogeochemistry, Bioavailability, and Risks of Metals. Springer, New York. pp. 866.
- Alloway B.J. 1995: Heavy metals in soils, Second edition, Blackie Academic & Professional, Glasgow
- Aslam S., Sharif F., Khan A.U. 2015: Effect of lead and cadmium on growth of *Medicago sativa* L. and their transfer to food chain, Journal of Animal & Plant Sciences, 25(2): 472 – 477.

- Baker A.J.M., Brooks R.R. 1989: Terrestrials higher plants which hyper accumulate metallic elements. A review of their distribution, ecology and phytochemistry. *Biorecovery* 1: 81- 26
- Belanović S., Čakmak D., Kadović R., Beloica J., Perović V., Alnaass N., Saljnikov E. 2012: Pristupačnos mikroelemenata (Pb, Cd, Cu i Zn) u odnosu na svojstva zemljišta pod pašnjacima Stare planine, *Glasnik Šumarskog fakulteta, Beograd*, 106: 41-56
- Čakmak D., Saljnikov E., Mrvić V., Jakovljević M., Marjanović Z., Sikirić B., Maksimović S. 2010: Soil Properties and Trace Elements Contents Following 40 Years of Phosphate Fertilization, *Journal of Environmental Quality* 39 (2): 541-547
- De Vries W, Bakker D.J. 1996: Manual for calculating critical loads of heavy metals for soils and surface waters, Preliminary guidelines for critical limits, calculation methods and input data, DLO Winand Staring Centre, Report 114, Wageningen, p. 173
- Hemijske metode ispitivanja zemljišta, Knjiga 1, 1966. JDPZ
- Kabata-Pendias A., Pendias H. 2000: Trace Elements in Soils and Plants. CRC Press, Boca Raton, p. 413.
- Kadović R., Knežević M. 2002: Teški metali u šumskim ekosistemima Srbije. Šumarski fakultet Univerziteta u Beogradu i Ministarstvo za zaštitu prirodnih bogatstava i životne sredine Republike Srbije, Beograd, Serbia.
- Kadović R., Knežević M. 2004: Godišnji izveštaj ICP Forests 2003 u Srbiji, Ministarstvo nauke i zaštite životne sredine R Srbije – Uprava za zaštitu životne sredine, M inistarstvo poljoprivrede, šumarstva i vodoprivrede R Srbije – Uprava za šume, Beograd, 76 str.
- Ma L.Q., Komar K.M., Tu C., Zhang W., Cai Y., Kenelly E.D. 2001: A fern that hyper accumulates arsenic. *Nature* 409: 579-582
- Metode istraživanja i određivanja fizičkih svojstava zemljišta, 1997. JDPZ
- Pavlova D., Karadjova I. 2013: Toxic Element Profiles in Selected Medicinal Plants Growing on Serpentine in Bulgaria, *Biological Trace Element Research*, 156(1-3): 288-297
- Ravindranath and Ostwald 2008: Carbon Inventory methods, *Advances in Global Change Research* 29: 149 – 156.
- Rezvani M., Zaefarian F. 2011: Bioaccumulation and translocation factors of cadmium and lead in *Aeluropus littoralis*, *Australian Journal of Agricultural Engineering*, 2(4): 114 - 119

- Vrbničanin S., Dajić-Stevanović Z., Belanović S., Đorović M. 2004: Heavy metal concentrations in the dominant plant species of pasture on Mt. Stara Planina, *Acta herbologica* 13(2): 537 – 544
- Walley J. 2005: The effects of low-level cadmium toxicity on field and green house grown soybean (*Glycine max*). M.Sc. Thesis. Miami University, Oxford, Ohio, 70 p.
- Zhang W.H., Cai Y., Tu C., Ma Q.L. 2002: Arsenic speciation and distribution in an arsenic hyperaccumulating plant. *Sci Environ* 300: 167–177.

## SUMMARY

### **BIOACCUMULATION OF Pb AND Cd IN SOILS OF MEADOW ASSOCIATIONS *AGROSTIETUM CAPILLARIS* (Z. PAVLOVIĆ 1955) ON ZLATAR AND STARA PLANINA**

Belanović Simić, S., Čakmak, D., Beloica, J., Obratov-Petković D., Kadović, R., Miljković, P., Lukić, S., Marković, Dj.

The content of microelements in the soil and their accessibility to the plants, depends on various abiotic and biotic factors, but also on certain characteristics of plant species. A high level of translocation and bioaccumulation of some microelements can result from specific forms of metal-organic complexes that are easily transported as well as certain soluble compounds due to organic matter decomposition. The aim of this paper was to determine the degree of uptake, transport and accumulation of Pb and Cd in natural conditions in common bent (*Agrostietum capillaris* Z. Pavlović 1955) community. Study area were meadow community on the Mt. Stara planina (locality Javor) and Mt. Zlatar (locality Vodena poljana).

Soil samples were taken at fixed depths, and physicochemical properties were determined, while parts of aboveground and belowground biomass were taken according to the IPCC methodology. The translocation and bioaccumulation were measured based on factors given by shoot to root ratio of Cd and Pb concentrations in soil, belowground and aboveground biomass.

The concentrations of Pb and Cd in the studied soils at both locations are lower than the limit values, but the average Pb content is higher in the area of Zlatar Mt. which is statistically

significant. There is a strong correlation between Pb and soil properties on Zlatar Mt, while Cd shows statistically significant relation to soil properties on Stara planina Mt.

Pb concentration are higher in belowground biomass compared to the aboveground, with significantly higher concentration on Zlatar Mt. The translocation factor shows that Pb is accumulated in higher content in belowground biomass compared to aboveground, both on Stara planina and Zlatar Mt, but low values of this factor show that there is no translocation process from root to aboveground biomass. Foliar uptake is also known as the source of toxic microelements, from wet deposition. Although Pb is a metal which is mainly accumulated in the roots, its higher concentrations in the belowground biomass on Zlatar Mt may be the result of available Pb forms originating from a cross-border deposition. Pb concentration in aboveground biomass is within the limits of natural concentrations both on Stara planina and Zlatar.

Cd concentrations are higher in belowground biomass at both sites, compared to aboveground biomass, as indicated by translocation factor, with values  $<1$ . The ratio between belowground biomass and soil shows that TF values are significantly  $>1$  both on Stara planina and Zlatar Mt., which indicates a high level of Cd uptake by plants and its transport to aboveground biomass. However, foliar uptake is also characteristic for Cd, whereby this element is easily transported to the other parts of plants through various forms of metal-organic compounds, and accumulated in the root. As a proof of that process, the values of bioaccumulation factor are significantly higher than 1 at all profiles except one on Zlatar Mt. which is also confirmed by the strong correlation between the content of Cd in the belowground and aboveground biomass.

*Key words:* bioaccumulation factor; translocation factor; Pb; Cd; *Agrostietum capillaris*

Primljeno 1. februara 2018.  
Primljeno sa ispravkama 2. februara 2018.  
Odobreno 19. februara 2018.