

BIOAKUMULACIONI I TRANSLOKACIONI POTENCIJAL VRSTE *EUPATORIUM CANNABINUM* L.

Snežana Branković¹, Duško Brković², Gorica Đelić³, Zoran Simić⁴,
Goran Marković⁵, Jelena Mladenović⁶, Radmila Glišić⁷, Ranko Sarić⁸

Izvod: Cilj ovog rada bio je da se odrede koncentracije nekih metala (Ca, Mg, Mn, Fe, Zn, Ni, Cr) u zemljištu i vrsti *Eupatorium cannabinum* L. na jalovištu i flotacije rudnika DOO "Rudnik". Dobijeni rezultati pokazuju da su koncentracije Cd, Pb, Cr, Ni i Cu u istraživanom zemljištu prelazile propisane maksimalno dozvoljene koncentracije, Cd, Pb, Cr, Ni, Cu i Zn granične, a Pb i Cu remedijacione vrednosti ovih metala u zemljištu saglasno uredbi i pravilniku Republike Srbije. Najveći sadržaj svih ispitivanih metala pokazao je list vrste *E. cannabinum* u kojima su koncentracije Cu, Ni, Pb i Cd bile u nivou toksičnih koncentracija, a Cr iznad toksične koncentracije. Koren je sadržao više Mn, Ni, Fe i Cu od stabla, a stablo Zn, Cr, Ca, Mg, Pb i Cd od korena proučavane vrste. Na osnovu dobijenih rezultata možemo preporučiti upotrebu vrste *E. cannabinum* u fitoekstrakciji ispitivanih metala iz zagađenih zemljišta, pre svega Zn, Cr, Ca, Mg, Pb i Cd.

Ključne reči: metali, zemljište, bioakumulacija, translokacija.

Uvod

Flotacija "Rudnik" D.O.O. Rudnik na obroncima planine Rudnik je poznata po rudniku koji prerađuje rudu olova, cinka i bakra. Polimetalično ležište rudnik "Rudnik" je izgrađeno od velikog broja rudnih tela (preko 90), koji zauzimaju prostor od 3 km po dužini i preko 1,5 km po širini. Flotacija prerađuje polimetaličnu rudu olova, cinka i bakra čiji su proizvodi koncentrat i jalovina (u kojoj su metali u tragovima). Koncentrati se prodaju, a jalovina se skladišti na jalovištu rudnika. U zoni samog jalovišta, ispitivanjem biljnog pokrivača konstatovano je 10 biljnih taksona od kojih su 6 zeljaste biljke (među kojima i vrsta *Eupatorium cannabinum* L.), a 4 pripadaju drvenastim forma. Vrsta *Eupatorium cannabinum* L. (konopljuša) je evoazijski florni element koji pripada porodici Asteraceae. Konopljuša je visoka višegodišnja biljka sa kosim ili cilindričnim rizomom, uspravnim stabljikom i naspramnim izdijeljenim listovima. Stanište ove vrste su vlažni obronci, padine nasipa i vlažne livade (Josifović, 1970).

Cilj ovog rada bio je da se odredi sadržaj 10 metala (Mn, Ni, Fe, Cu, Zn, Cr, Ca, Mg, Pb i Cd) u zemljištu, kao i u korenu, stablu i listovima vrste *Eupatorium cannabinum* L. uzorkovane na jalovištu i flotacije rudnika DOO "Rudnik". Na osnovu sposobnosti

^{1,3,4,7} Univerzitet u Kragujevcu, Prirodno-matematički fakultet Kragujevac, Radoja Domanovića 12, Kragujevac, Srbija (snezana.brankovic@pmf.kg.ac.rs);

^{2,5,6} Univerzitet u Kragujevcu, Agronomski fakultet Čačak, Cara Dušana 34, Čačak, Srbija

⁸JP "Vojvodinašume", Preradovićeveva 2, 21131, Petovaradin, Srbija;

bioakumulacije i translokacije ispitivanih metala proučavane vrste trebalo je ukazati na mogućnost njene praktične primene u fitoremedijaciji.

Materijal i metode rada

Jalovište i flotacija rudnika DOO “Rudnik” nalazi se 7 kilometara severno od Gornjeg Milanovca u selu Majdan, na padinama planine Rudnik, neposredno uz Ibarsku magistralu. Nalazi se na 44° 6' 33" severne geografske širine i 20° 29' 28" istočne geografske dužine.

Biljni materijal za potrebe istraživanja je prikupljan po povoljnim vremenskim uslovima, a uzorkovani su koren, stablo i list vrste *E. cannabinum* L. na lokalitetu Majdan na jalovištu i flotaciji pomenutog rudnika. Identifikacija biljnog materijala je rađena pomoću odgovarajućeg pribora u laboratoriji Instituta za biologiju i ekologiju Prirodno-matematičkog fakulteta u Kragujevcu, uz pomoć standardnih ključeva za determinaciju biljaka: Jávorka and Csapody (Javorka and Csapody, 1979.), Flora Republike Srbije (Josifović, 1991.) i Flora Evrope (Tutin, 1964.).

Uzorci zemljišta od 2 kg, sa dubine do 10 cm, su prvo sušeni na vazduhu do vazdušno-suvog stanja, pri čemu su iz zemljišta odstranjeni delovi stena i krupne frakcije. Srednja proba zemljišta je zatim prosejavana na sitima promera 2 mm, a nakon toga ponovo manji uzorci težine od 10 g. Posle sušenja biljnih uzoraka i uzoraka zemljišta (u sušnici Binder/Ed15053, 24h na temperaturi od 105°C), određena masa pripremljenog materijala (3 g zemljišta i 2 g biljnog materijala) je merena na analitičkoj vagi, a onda sprovedena standardna procedura za pripremanje uzoraka za hemijsku analizu (Wei et al., 2005.).

U zemljištu i biljnim uzorcima (koren, stablo, list, cela biljka), određivane su koncentracije Mn, Ni, Fe, Cu, Zn, Cr, Ca, Mg, Pb i Cd, a njihovo očitavanje rađeno je u Institutu za hemiju na Prirodno-matematičkom fakultetu u Kragujevcu, korišćenjem atomskog apsorpcionog spektrofotometra (Perkin Elmer 3300). Svaki uzorak je očitavan u pet ponavljanja. Određivane su srednja vrednost, standardna devijacija, bioakumulacioni faktor (BF) i translokacioni faktor (TF). Bioakumulacioni faktor je indeks sposobnosti biljke da akumulira određeni metal u odnosu na njegovu koncentraciju u supstratu, i računa se kao odnos koncentracije metala u korenu i u nadzemnim organima biljke, i njegove koncentracije u zemljištu (Nawab et al, 2016). Translokacioni faktor (odnos mobilizacije) se koristi za procenu relativne translokacije metala od podzemnih organa (krenova) ka nadzemnim organima, i izračunava se kao odnos koncentracije metala u nadzemnom organu i njegove koncentracije u korenu (Nawab et al, 2016). Takođe, određivan je i biološki apsorpcioni koeficijent (AK), kao odnos sadržaja metala u celoj biljci i njegovog sadržaja u zemljištu (Kabata-Pendias, 2011). Koncentracije metala u biljnom materijalu i zemljištu izražene su u mg kg⁻¹ suve materije.

Rezultati istraživanja i diskusija

Srednje vrednosti koncentracija ispitivanih metala u zemljištu gradirane su u sledećem poretku: Fe>Ca>Mg>Pb>Mn>Cu>Zn>Cr>Ni>Cd. Koncentracije ispitivanih metala u zemljištu jalovišta kretale su se u rasponu od 10,26 mg Cd kg⁻¹ do 55842,76 mg Fe kg⁻¹ (Tabela 1). Dobijeni rezultati pokazuju da su koncentracije Cd, Pb, Cr, Ni i Cu u istraživanom zemljištu prelazile propisane maksimalno dozvoljene koncentracije, Cd, Pb, Cr, Ni, Cu i Zn granične, a Pb i Cu remedijacione vrednosti ovih metala u zemljištu saglasno uredbi i pravilniku Republike Srbije (Službeni glasnik RS, br. 18/97; Službeni glasnik RS, br. 88/2010, prilog 3). Pokazano je da su koncentracije Cd, Pb, Ni i Cu proučavanog zemljišta bila veće od granične vrednosti za pomenute metale u zemljištu prema Direktivi Evropske unije (Directive 86/278/EEC). Prema nekim literaturnim podacima, zemljište na jalovištu rudnika možemo klasifikovati kao ekstremno zagađeno u odnosu na sadržaj Mg i visoko zagađeno u odnosu na sadržaj Zn i Cd, srednje zagađeno prema sadržaju Cu, Pb, Ni i nisko zagađeno u odnosu na sadržaj Cr (Sorano et al., 2012). Rezultati ovog istraživanja su pokazala da se na jalovištu (koje bi trebalo da sadrži samo tragove metala) mogu naći Pb, Cd, Cr, Cu i Ni u visokim koncentracijama koje prevazilaze koncentracije propisane zakonskom regulativom.

Tabela 1. Sadržaj ispitivanih metala [mg kg⁻¹]¹ u zemljištu
 Table 1. The content of investigated metals [mg kg⁻¹]¹ in the soil

	zemljište soil
Mn	843,5±1,98
Ni	102,52±1,08
Fe	55842,76±90,30
Cu	338,14±0,68
Zn	203,12±0,76
Cr	143,3±0,89
Ca	47625,24±127,01
Mg	11556,14±233,79
Pb	1183,04±11,91
Cd	10,26±0,21

¹srednja vrednost (n=5) ± standardna devijacija [mg kg⁻¹]

Generalni poredak sadržaja ispitivanih metala u proučavanoj biljci bio je: Ca>Mg>Fe>Zn>Mn>Pb>Cr>Cu>Ni>Cd i znatno se razlikovao od poredka u ispitivanom zemljištu. Sadržaj ispitivanih metala u proučavanoj vrsti *E. cannabinum* bio je različit i zavisio je od vrste metala i biljnog organa (Tabela 2). Najveći sadržaj svih ispitivanih metala pokazao je list vrste *E. cannabinum*, dok je koren sadržao više Mn, Ni, Fe i Cu od stabla, a stablo Zn, Cr, Ca, Mg, Pb i Cd od korena proučavane vrste. List ispitivane vrste sadržao je Mn ispod prosečne, Zn iznad prosečne koncentracije, dok su koncentracije Cu, Ni, Pb i Cd bile u nivou njihovih toksičnih

koncentracija, a Cr iznad toksične koncentracije u listovima različitih biljnih vrsta prema nekim literaturnim podacima (Kabata-Pendias, 2011).

Tabela 2. Sadržaj ispitivanih metala [mg kg⁻¹]¹ u vrsti *E. cannabinum*
 Table 2. The content of investigated metals [mg kg⁻¹]¹ in species *E. cannabinum*

	koren root	stablo stem	list leaf	cela biljka whole plant
Mn	34,00±0,73	30,30±1,06	102,22±1,01	55,51±34,24
Ni	5,74±0,04	4,60±0,05	16,42±0,35	8,92±5,51
Fe	654,94±3,61	236,90±2,29	2019,48±39,73	970,44±788,17
Cu	14,44±0,38	11,30±0,31	33,68±0,35	19,81±10,25
Zn	79,78±0,63	111,14±0,98	172,48±1,28	121,13±39,86
Cr	4,19±0,03	24,38±4,75	37,42±0,35	22,00±14,38
Ca	5381,48±87,70	17518,76±58,49	27267,38±159,51	17532,61±9049,30
Mg	1087,92±40,88	1089,40±28,68	5104,50±60,13	2427,27±1959,97
Pb	22,46±0,40	34,14±0,56	61,26±0,30	39,29±16,83
Cd	1,82±0,04	2,91±0,05	3,74±0,08	2,82±0,82

¹srednja vrednost (n=5) ± standardna devijacija [mg kg⁻¹]

Dobijeni rezultati (Tabela 3) pokazuju da su se vrednosti bioakumulacionog faktora kretale od 0,004 (BF stabla za Fe) do 0,849 (BF lista za Zn). Na osnovu vrednosti bioakumulacionog faktora možemo reći da su svi proučavani organi najmanje akumulirali Fe, najviše Zn.

Tabela 3. Bioakumulacioni faktor (BF) vrste *E. cannabinum*
 Table 3. Bioaccumulation factor (BF) of species *E. cannabinum*

metal metal	BFkoren BFroot	BFstablo BFstem	BFlist BFleaf
Mn	0,040	0,036	0,121
Ni	0,056	0,045	0,160
Fe	0,012	0,004	0,036
Cu	0,043	0,033	0,099
Zn	0,393	0,547	0,849
Cr	0,029	0,170	0,261
Ca	0,113	0,368	0,573
Mg	0,094	0,094	0,442
Pb	0,019	0,029	0,052
Cd	0,178	0,283	0,365

Translokacioni faktor (TF) ukazuje na translokacije metala od korena ka nadzemnim organima i specifičnu sposobnost biljke da apsorbuje jone metala iz zemljišta i transportuje ih u nadzemne organe. Vrednosti TF>1 ukazuju na veliku sposobnost biljke u translokaciji metala (Tabela 4). Dobijeni rezultati govore da se vrednost TF kretala od 0,36 (TF stabala za Fe) do 8,92 (TF lista za Cr). Rezultati

ove studije ukazuju da je list vrste *E. cannabinum* pokazao $TF \geq 1$ za sve ispitivane metale, a stablo za Zn, Cr, Ca, Mg, Pb i Cd, što ukazuje na dobru translokaciju i akumulaciju ovih metala u nadzemnim organima. Za sve ispitivane metale vrednosti AK bile su manje od 1, pri čemu je najveću vrednost apsopcionog koeficijenta vrsta *E. cannabinum* pokazala za Zn (0,60), dok je najmanju vrednost imala za Fe (0,02).

Tabela 4. Translokacioni faktori (TF) i apsorpcioni koeficijent (AK) vrste *E. cannabinum*

Table 4. Translocation factors (TF) and apsrption coefficient (AC) of species *E. cannabinum*

metal metal	TFstablo TFstem	TFlist TFleaf	AK AC
Mn	0,89	3,01	0,07
Ni	0,80	2,86	0,09
Fe	0,36	3,08	0,02
Cu	0,78	2,33	0,06
Zn	1,39	2,16	0,60
Cr	5,81	8,92	0,15
Ca	3,26	5,07	0,37
Mg	1,00	4,69	0,21
Pb	1,52	2,73	0,03
Cd	1,59	2,05	0,28

Vrednosti bioakumulacionog i translokacionog faktora, kao i apsopcionog koeficijenta većeg od 1 pokazuju akumulacionu sposobnost biljke i ukazuju na njenu praktičnu primenu u fitoekstrakciji. Rezultati ove studije ukazuju da je list vrste *E. cannabinum* pokazao $TF \geq 1$ za sve ispitivane metale, a stablo za Zn, Cr, Ca, Mg, Pb i Cd, što ukazuje na dobru translokaciju i akumulaciju ovih metala u nadzemnim organima. Dobijeni rezultati sugerišu mogućnost upotrebe nadzemnih delova vrste *E. cannabinum* u fitoekstrakciji ispitivanih metala iz kontaminiranih zemljišta.

Zaključak

Rezultati ovog istraživanja su pokazali da se u zemljištu na jalovištu mogu naći Pb, Cd, Cr, Cu i Ni u visokim koncentracijama koje prevazilaze koncentracije propisane zakonskom regulativom. Najveći sadržaj svih ispitivanih metala pokazao je list vrste *E. cannabinum* u kojima su koncentracije Cu, Ni, Pb i Cd bile u nivou toksičnih koncentracija, a Cr iznad toksične koncentracije prema literaturnim podacima. Koren je sadržao više Mn, Ni, Fe i Cu od stabla, a stablo Zn, Cr, Ca, Mg, Pb i Cd od korena proučavane vrste. Na osnovu dobijenih rezultata možemo preporučiti upotrebu vrste *E. cannabinum* (naročito nadzemne delove biljke) u fitoekstrakciji ispitivanih metala iz zagađenih zemljišta, pre svega Zn, Cr, Ca, Mg, Pb i Cd.

Literatura

- Branquinho C., Serrano H.C., Pinto M.J., Martins-Loucao M.A. (2007). Revisiting the plant hyperaccumulation criteria to rare plants and earth abundant elements. *Environ. Pollut.* 146, 437-443.
- EU Directive 86/278/EEC (1986). Directive 86/278/EEC on the protection of the environment and in particular of the soil, when sewage sludge is used in agriculture. *Off. J. Eur. Comm.* L181/6.
- Javorka S., Csapody V. (1979). *Iconographia Florae partibus Austro-Orientalis Europae Centralis*. Academiai kido, Budapest.
- Josifović M. (1970). *Flora of Serbia I*. SAAS, Beograd, 286-31.
- Kabata-Pendias A. (2011). *Trace Elements in Soil and Plants* (4th Eds.). Boca Raton, CRC press, Washington, D.C.
- Nawab, J., Khan, S., Shah, M.T., Gul, N., Ali, A., Khan, K., Huang, Q. (2016). Heavy metal bioaccumulation in native plants in chromite impacted sites: A search for effective remediating plants species. *CLEAN- Soil, Air, Water*, 44(1), 37-46.
- Pravilnik o dozvoljenim količinama opasnih i štetnih materija u zemljištu i vodi za navodnjavanje i metodama njihovog ispitivanja. *Službeni glasnik RS*, br. 18/97.
- Pilon-Smits, E (2005). Phytoremediation. *Annu.Rev.Plant Biol.* 56, 15-39.
- Soriano, A., Pallarés, S., Pardo, F., Vicente. A.B., Bech, J. (2012). Deposition of heavy metals from particulate settleable matter in soils of an industrialised area. *Jour. of Geoch. Explor.* 113,36-44. Tutin T. G. (1964-1980).
- Flora Europaea*. In: Tutin T. G., Heywood V. H., Burges N. A., Valentine D. H., Walters S. M., Webb D. A. (Eds.), Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom.
- Uredba o programu sistemskog praćenja kvaliteta zemljišta, indikatorima za ocenu rizika od degradacije zemljišta i metodologiji za izradu remedijacionih programa. *Službeni glasnik RS*, br. 88/2010, prilog 3.
- Wei Sh., Zhou Q., Wang X. (2005). Identification of weed plants excluding the uptake of heavy metals. *Environ. Inter.*, 31, 829-834.

BIOACCUMULATION AND TRANSLOCATION POTENTIAL OF SPECIES *EUPATORIUM CANNABINUM* L.

Snežana Branković¹, Duško Brković², Gorica Đelić³, Zoran Simić⁴,
Goran Marković⁵, Jelena Mladenović⁶, Radmila Glišić⁷, Ranko Sarić⁸

Abstract: The aim of this study was to determine the concentrations of some metals (Ca, Mg, Mn, Fe, Zn, Ni, Cr) in soil and species *Eupatorium cannabinum* L. on the mine tailings and the flotation of the mine DOO “Rudnik”. The obtained results show that the concentrations of Cd, Pb, Cr, Ni and Cu in the investigated soil exceeded the prescribed maximum permitted concentrations, Cd, Pb, Cr, Ni, Cu and Zn limit concentrations, and Pb and Cu remediation values of these metals in the soil in accordance with the regulations of the Republic of Serbia. The highest content of all the metals tested showed a leaf of *E. cannabinum* where the concentrations of Cu, Ni, Pb and Cd were in the level of toxic and Cr above the toxic concentration. The root contained more Mn, Ni, Fe, and Cu than the stem, and the stem more Zn, Cr, Ca, Mg, Pb, and Cd than the root of the species studied. Based on the obtained results, we can recommend the use of *E. cannabinum* in the phytoextraction of metals investigated from contaminated soils, primarily Zn, Cr, Ca, Mg, Pb and Cd.

Key words: metals, soil, bioaccumulation, translocation.

^{1,3,4,7} University of Kragujevac, Faculty of Science Kragujevac, Radoja Domanovića 12, Kragujevac, Serbia (snezana.brankovic@pmf.kg.ac.rs)

^{2,5,6} University of Kragujevac, Faculty of Agronomy, Cara Dušana 34, Čačak, Serbia

⁸P.E. “Vojvodinašume”, Preradovićevo 2, 21131, Petovaradin, Serbia (ranko.saric@banatsume.rs);