

BIOAKUMULACIONI I TRANSLOKACIONI POTENCIJAL VRSTE *HOLCUS LANATUS* L. NA JALOVIŠTU RUDNIK „RUDNIK“

Snežana Branković¹, Radmila Glišić², Duško Brković³, Gorica Đelić⁴, Filip Grbović⁵, Vera Rajčić⁶, Maija Marin⁷, Marijana Vasić⁸, Jelena Bogosavljević⁹

Izvod: Cilj ovog rada bio je određivanje koncentracije nekih metala (Mn, Ni, Fe, Cu, Zn, Cr, Ca, Mg, Pb, Cd) u zemljištu i vrsti *Holcus lanatus* L. na jalovištu rudnika D00 "Rudnik". U zemljištu su registrovane koncentracije Pb veće od maksimalno dozvoljenih, graničnih i remedijacionih vrednosti, Cd, Cu i Cr veće od maksimalno dozvoljenih i graničnih vrednosti, Ni i Zn veće od graničnih vrednosti (po važećoj Uredbi i Pravilniku Republike Srbije). Dobijeni rezultati sugerisu mogućnost upotrebe korenova vrste *H. lanatus* u bioakumulaciji metala Ni, Mg i Cd, dok se nadzemnih delovi ove biljne vrste mogu koristiti u fitoekstrakciji Cd.

Ključne reči: metali, zemljište, *Holcus lanatus*, bioakumulacija.

Uvod

Lociran u Centralnoj Srbiji, 7 km severno od Gornjeg Milanovca u selu Majdan, na padinama planine Rudnik ($44^{\circ} 6' 33''$ severne geografske širine i $20^{\circ} 29' 28''$ istočne geografske dužine), rudnik D00 „RUDNIK“ se bavi preradom polimetalične rude olova, cinka i bakra. Tokom flotacije i prerade rude, dobijaju se proizvodi, koncentrati koji se prodaju i jalovina koja se skladišti na jalovištu rudnika.

Jalovišta su izvor kontaminacije teškim metalima površinskih i podzemnih voda, zemljišta i živog sveta (Concas i sar, 2006). Zbog ove činjenice, "Rudnik", kao društveno odgovorno preduzeće, sprovodi monitoring kvaliteta životne sredine i traži načine za revitalizaciju pomenutog jalovišta. Jedno od mogućih rešenja je fitoremedijacija - postupak upotrebe biljaka za uklanjanje, translokaciju, stabilizaciju i degradaciju organskih i neorganskih polutanata iz zemljišta, vode i vazduha (McGrath i sar, 2002; Liu i sar, 2020).

U zoni jalovišta razvijena je samonikla flora, zastupljena sa 10 taksona (4 drvenastih i 6 zeljastih biljaka). Jedna od pomenutih zeljastih vrsta je *Holcus lanatus* L. (obična somotna trava), predstavnik porodice Poaceae.

To je višegodišnja busenasta biljka sa žiličastim rizomom, uspravnim ili ustajućim stablom. Listovi su ravni i dlakavi, široki 4-8 mm. Cvast metlica je kompaktna, jajastog

^{1,2,4,5} Univerzitet u Kragujevcu, Prirodno-matematički fakultet Kragujevac, Radoja Domanovića 12, 34000 Kragujevac, Srbija (snezana.brankovic@pmf.kg.ac.rs);

³ Univerzitet u Kragujevcu, Agronomski fakultet Čačak, Cara Dušana 34, 32 000 Čačak, Srbija;

⁶ Univerzitet u Nišu, Poljoprivredni fakultet Kruševac, Kosančićeva 4, 37 000 Kruševac, Srbija;

⁷ Univerzitet u Beogradu, Biološki fakultet, Studentski trg 16, 11158 Beograd, Srbija;

⁸ Univerzitet u Kragujevcu, Tehničko-tehnološki fakultet, Kosančićeva 36, 37 000 Kruševac, Srbija;

⁹ Univerzitet u Beogradu, Poljoprivredni fakultet, Nemanjina 6, 11080 Beograd, Srbija.

oblika, dužine do 10 cm. Raste na humusnom i dubokom zemljištu u vlažnim šumama i livadama, u nizinskom, brdskom i planinskom pojusu (Josifović, 1976).

Cilj ovog rada bio je da se odredi sadržaj 10 metala (Mn, Ni, Fe, Cu, Zn, Cr, Ca, Mg, Pb, Cd) u zemljištu, kao i korenu, stablu, listovima i cvastima vrste *H. lanatus* L. uzorkovanih na jalovištu flotacije "Rudnik". Ispitivana je sposobnosti date vrste, kao pionirske vrste pomenutog područja, da akumulira teške metale i mogućnost njene praktične primene u revitalizaciji pomenutog jalovišta.

Materijal i metode rada

Biljni materijal, koren, stablo, list i cvast vrste *H. lanatus* L. (Slika 1B) prikupljan je po povoljnim vremenskim uslovima na na jalovištu lokaliteta Majdan, (Slika 1A). Identifikacija uzoraka je rađena u laboratoriji Instituta za biologiju i ekologiju Prirodno-matematičkog fakulteta u Kragujevcu, uz pomoć standardnih ključeva za determinaciju biljaka: Jávorka i Csapody (Javorka i Csapody, 1979.), Flora Republike Srbije (Josifović, 1976) i Flora Evrope (Tutin, 1964-1980.).



Sl.1 A) Jalovište rudnika i B) ispitivana vrsta *H. lanatus* L.
Fig.1 A) Mine tailings and B) investigated species *H. lanatus* L.

Zemljište je uzorkovano na mestima prikupljanja proučavane vrste. Uzorci zemljišta od 2 kg 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 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.

Nakon toga je sprovedena standardna procedura za pripremanje uzoraka za hemijsku analizu (Wei i sar., 2005.).

U zemljištu i biljnim uzorcima (koren, stablu, listu i cvasti), određivane su koncentracije Mn, Ni, Fe, Cu, Zn, Cr, Ca, Mg, Pb i Cd. Analize su urađene je u Institutu za hemiju na Prirodno-matematičkom fakultetu u Kragujevcu, korišćenjem atomskog apsorpcionog spektrofotometra (Perkin Elmer 3300).

Svaki uzorak je očitan u pet ponavljanja. Određivane su srednja vrednost, standardna devijacija i bioakumulacioni faktor (BF). Bioakumulacioni faktor je indeks sposobnosti biljke da akumulira određeni metal u odnosu na njegovu koncentraciju u supstratu i predstavlja odnos koncentracije metala u pojedinim organima biljke i njegove koncentracije u zemljištu (Kabata-Pendias, 2011.).

Koncentracije metala u uzorcima izražavane su u mg kg^{-1} suve materije.

Rezultati istraživanja i diskusija

Srednje vrednosti koncentracija ispitivanih metala u zemljištu gradirane su prema sledećem poretku: $\text{Fe}>\text{Ca}>\text{Mg}>\text{Pb}>\text{Mn}>\text{Zn}>\text{Cu}>\text{Cr}>\text{Ni}>\text{Cd}$.

Koncentracije ispitivanih metala u zemljištu jalovišta kretale su se u rasponu od 3,94 mg Cd kg^{-1} do 68346,92 mg Fe kg^{-1} (Tabela 1). Dobijeni rezultati pokazuju da je koncentracija Pb u ispitivanom zemljištu prelazila propisane maksimalno dozvoljene koncentracije, granične i remedijacione vrednosti. Koncentracije Cd, Cr i Cu bile su veće od maksimalno dozvoljenih koncentracija i graničnih vrednosti, dok su koncentracije Zn i Ni veće od graničnih vrednosti ovih metala u zemljištu (saglasno Uredbi i Pravilniku Republike Srbije, Službeni glasnik RS, br. 23/94; Službeni glasnik RS, br. 88/2010, prilog 3). Koncentracije Cd, Cu i Pb zemljišta su bile veće od granične vrednosti u zemljištu prema Direktivi Evropske unije (Directive 86/278/EEC).

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	$321,66\pm 5,82$
Ni	$21,54\pm 0,86$
Fe	$68346,92\pm 292,65$
Cu	$163,90\pm 0,27$
Zn	$193,62\pm 0,73$
Cr	$103,80\pm 0,88$
Ca	$10507,68\pm 175,84$
Mg	$4472,96\pm 96,82$
Pb	$808,10\pm 1,91$
Cd	$3,94\pm 0,04$

¹srednja vrednost ($n=5$) \pm standardna devijacija

Sadržaj ispitivanih metala u proučavanoj biljnoj vrsti bio je različit i zavisio je od biljnog organa i vrste metala (Tabela 2). Generalni poredak sadržaja ispitivanih metala u ispitivanoj vrsti bio je: $\text{Ca}>\text{Mg}>\text{Fe}>\text{Mn}>\text{Zn}>\text{Cu}>\text{Pb}>\text{Cr}>\text{Ni}>\text{Cd}$.

Koncentracije Mn, Ni, Fe, Cu, Zn, Ca, Mg i Pb bile su najviše u korenju vrste *H. lanatus*. Takođe, u korenju su utvrđene višestuke više koncentracije Fe, Cu, Zn, Mg i Pb u poređenju sa drugim ispitivanim organima. Cvast vrste *H. lanatus* sadržala je najviše Cd (15,36 mg Cd kg^{-1}), a list najviše Cr (54,80 mg Cr kg^{-1}). U stablu date

vrste utvrđeni su najmanji sadržaji Ni, Fe, Cu, Zn, Cr, Mg, Pb i Cd. Listovi su sadržali najmanje Ca, dok su cvasti sadržavale najmanje Mn.

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

	<i>H. lanatus</i>			
	koren <i>root</i>	stablo <i>stem</i>	list <i>leaf</i>	cvast <i>inflorescence</i>
Mn	293,70±3,58	160,30±1,10	240,88±0,61	119,54±44,98
Ni	29,08±0,30	1,35±0,03	4,33±0,08	5,33±0,06
Fe	2602,48±22,35	40,68±0,79	812,68±10,36	191,84±2,77
Cu	163,14±0,63	7,72±0,08	15,36±0,38	8,46±0,09
Zn	184,52±3,35	30,88±0,29	56,02±0,51	42,30±0,52
Cr	1,06±0,04	0,36±0,02	54,80±0,32	1,23±0,04
Ca	4569,80±37,09	2347,12±40,14	1489,52±22,38	1495,94±13,09
Mg	5892,26±53,14	273,94±7,28	1250,88±52,22	1172,96±36,48
Pb	74,90±0,51	3,54±0,29	36,80±0,38	17,22±0,6
Cd	11,44±0,36	1,29±0,06	2,27±0,12	15,36±0,35

¹srednja vrednost (n=5) ± standardna devijacija

Dobijeni rezultati (Tabela 3) pokazuju da su se BF vrednosti kretale od 0,0006 (BF stabla ispitivane vrste za Fe) do 3,8965 (BF cvasti ispitivane vrste za Cd).

Na osnovu BF vrednosti utvrđeno je da je koren akumulirao većinu ispitivanih metala (osim Cr i Cd) u koncentracijama višim od stabla, lista i cvasti.

Tabela 3. Bioakumulacioni faktor (BF) vrste *H. lanatus*
 Table 3. Bioaccumulation factor (BF) of species *H. lanatus*

metal <i>metal</i>	koren <i>root</i>	BFstablo <i>BFstem</i>	BFlist <i>BFleaf</i>	BFcvast <i>BFinflorescence</i>
Mn	0,9131	0,4984	0,7489	0,3716
Ni	1,3500	0,0625	0,2011	0,2474
Fe	0,0381	0,0006	0,0119	0,0028
Cu	0,9954	0,0471	0,0937	0,0516
Zn	0,9530	0,1595	0,2893	0,2185
Cr	0,0102	0,0034	0,5279	0,0119
Ca	0,4349	0,2234	0,1418	0,1424
Mg	1,3173	0,0612	0,2797	0,2622
Pb	0,0927	0,0044	0,0455	0,0213
Cd	2,9021	0,3267	0,5769	3,8965

Takođe, listovi *H. lanatus* su ispoljili veću akumulaciju Cr, a cvasti Cd od ostalih organa. BF vrednosti zavise od biljnog organa, vrste metalnog jona i njegove koncentracije u zemljишtu, dubine sa koje se unosi ispitivani metal, kao i da postoje razlike između biljnih vrsta i rodova (Zhuang i sar., 2009). Prema Kabata-Pendias (2004), u zavisnosti od vrednosti BF, efikasnost akumulacije može biti: intenzivna, BF>1; srednja, BF=1–0,1; slaba, BF=0,1–0,01; nema akumulacije, BF=0,01–0,001.

Rezultati ove studije ukazuju da je koren proučavane vrste pokazao $BF \geq 1$ za Ni, Mg i Cd. Vrednosti BF potvrđuju akumulacionu sposobnost biljke i ukazuju na mogućnost njene praktične primene u fitoekstrakciji. BF vrednost cvasti iznosi 3,8965 za Cd. Dobijeni rezultati potvrđuju intenzivnu translokaciju i akumulaciju ovog metala u nadzemnim organima vrste *H. lanatus*, kao i mogućnost njene potencijalne primene u fitoekstrakciji Cd (Kabata-Pendias, 2011).

Takođe, registrovana je srednja akumulacija korena za Mn, Cu, Zn, Ca i Cd; stabla za Mn, Zn, Ca i Cd; lista za Mn, Ni, Zn, Cr, Ca, Mg i Cd i cvasti za Mn, Ni, Zn, Ca i Mg. Slabu akumulaciju pokazao je koren za Fe, Cr i Pb stablo za Ni, Cu i Mg; list za Fe, Cu i Pb i cvast za Cu, Cr i Pb. Utvrđeno je da stablo vrste *H. lanatus* nema sposobnost akumulacije Fe, Cr i Pb, dok cvasti ne akumuliraju Fe.

Dobijeni rezultati sugerisu mogućnost upotrebe korenova vrste *H. lanatus*, koja se spontano javlja na jalovištu rudnika, za bioakumulaciju metala Ni, Mg i Cd, kao i nadzemnih delova ove biljne vrste u akumulaciji i fitoekstrakciji Cd.

Zaključak

Dobijeni rezultati potvrđuju da je koncentracija Pb u zemljištu bila veća od maksimalno dozvoljenih koncentracija, graničnih i remedijacionih vrednosti.

Koncentracije Cd, Cu i Cr su bile veće od maksimalno dozvoljenih koncentracija i graničnih vrednosti, dok su koncentracije Ni i Zn veće od graničnih vrednosti ovih metala (saglasno Uredbi i Pravilniku Republike Srbije).

Koren proučavane vrste intezivno je akumulirao Ni, Mg i Cd, dok su cvasti pokazale intezivnu akumulaciju Cd. Svi organi vrste *H. lanatus* su pokazali srednju akumulaciju Mn, Zn i Ca, a nadzemni orani su pokazali slabu akumulaciju Cu i Pb.

Dobijeni rezultati sugerisu mogućnost upotrebe korenova vrste *H. lanatus* u bioakumulaciji metala Ni, Mg i Cd, dok se nadzemni delovi ove biljne vrste mogu koristiti u fitoekstrakciji Cd.

Literatura

- 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.
- Concas A, Arda C, Cristini A, Zuddas P, Cao G (2006). Mobility of heavy metals from tailings to stream waters in a mining activity contaminated site. Chemosphere 63:244–253.
- Liu, K., Zhang, H., Liu, Y., Li, Y., Yu, F., 2020. Investigation of plant species and their heavy metal accumulation in manganese mine tailings in Pingle Mn mine, China. Environmental Science and Pollution Research 27(16):19933-19945.
- McGrath SP, Zhao J, Lombi E (2002). Phytoremediation of metals, metalloids, and radionuclides. Advances in Agronomy 75:1-56.
- Javorka S., Csapody V. (1979). Iconographia Flora parties Austro-Orientalis Europae Centralis. Academiai kido, Budapest.
- Josifović M. (1976). Flora of Serbia VIII. SAAS, Beograd, 341-342.

- Kabata-Pendias, A. (2004). Soil - Plant transfer of trace elements - an environmental issue. *Geoderma* 122, 143-149.
- Kabata-Pendias A. (2011). Trace Elements in Soil and Plants (4th Ed.). Boca Raton, CRC press, Washington, D.C.
- Pravilnik o dozvoljenim količinama opasnih i štetnih materija u zemljištu i vodi za navodnjavanje i metodama njihovog ispitivanja. Službeni glasnik RS, br. 23/94.
- 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.
- Zhuang P, Zou H.L., Shu W.S. (2009). Biotransfer of heavy metals along a soil-plant-insect-chicken food chain: Field study. *Journal of Environmental Sciences. Journal of environmental sciences (China)*, 21 (6), 849-53.
- Wei Sh., Zhou Q., Wang X. (2005). Identification of weed plants excluding the uptake of heavy metals. *Environ. Inter.*, 31, 829-834.

METAL BIOACCUMULATION AND TRANSLOCATION POTENTIAL OF THE SPECIES *HOLCUS LANATUS* L. ON MINE TAILINGS RUDNIK DOO "RUDNIK"

Snežana Branković¹, Radmila Glišić², Duško Brković³, Gorica Đelić⁴, Filip Grbović⁵, Vera Rajićić⁶, Maija Marin⁷, Marijana Vasić⁸, Jelena Bogosavljević⁹

Abstract: The aim of this study was to determine the concentration of some metals (Mn, Ni, Fe, Cu, Zn, Cr, Ca, Mg, Pb, Cd) in the soil and species of *H. lanatus* L. on the tailings and flotation of the mine DOO "Rudnik". Concentrations in the soil were: Pb - higher than the maximum allowed, limit and remediation values; Cd, Cu and Cr - higher than the maximum allowed and limit values, and Ni and Zn higher than the limit values (according to the regulations of the Republic of Serbia). Results suggest the possibility of using the roots of *H. lanatus* in the bioaccumulation of metals Ni, Mg and Cd, as well as the aboveground parts of this plant species in the accumulation and phytoextraction of Cd.

Key words: metals, soil, plant, bioaccumulation.

^{1,2,4,5} University of Kragujevac, Faculty of Science Kragujevac, Radoja Domanovića 12, 34 000 Kragujevac, Serbia (snezana.brankovic@pmf.kg.ac.rs);

³ University of Kragujevac, Faculty of Agronomy, Cara Dušana 34, 32 000 Čačak, Serbia;

⁶ University of Niš, Faculty of Agriculture Kruševac, Kosančićeva 4, 37 000 Kruševac, Serbia;

⁷ University of Belgrade, Faculty of biology, Studentski trg 16, 11 158 Belgrade, Serbia;

⁸ University of Kragujevac, Faculty of technology, Kosančićeva 36, 37 000 Kruševac, Serbia;

⁹ University of Belgrade, Faculty of Agriculture, Nemanjinina 6, 11 080 Belgrade, Serbia.