

## Potencijal vrste *Alyssum murale* Waldst & Kit s. 1. za hiperakumulaciju nikla na ultramafitima Maljena

Masiv Maljena (zapadna Srbija) izgrađen je pretežno od peridotita u različitim fazama serpentinizacije. Zemljište koje se razvija na serpentinima karakteriše niska koncentracija nutrijenata (K, P, N), povećana koncentracija toksičnih metala (Ni, Cr, Co, Fe) i nepovoljan odnos koncentracija Mg i Ca. Cilj ovog istraživanja je analiza sadržaja nikla i odabranih toksičnih metala u zemljištu, korenovima, stablima i listovima vrste *Alyssum murale* na ultramafitima Maljena. Uzorci zemljišta i biljnog materijala sakupljeni su jula 2017. na 5 lokaliteta, a sadržaj metala određen je metodom atomske apsorpcione spektroskopije. U zemljištu su na svim ispitivanim lokalitetima zabeležene visoke koncentracije Ni (1150–2050 ppm), Mn (1700–2600 ppm) i Fe (29000–82000 ppm). Sadržaj Ni u svim analiziranim biljnim organima viši je od koncentracije ovog elementa u uzorcima zemljišta, što ukazuje na njegovu aktivnu akumulaciju. Sadržaj nikla u korenu kreće se od 2300 do 5200 ppm, stablima od 2400 do 8000 ppm, a u listovima od 8000 do 14700 ppm. Koncentracije nikla u nadzemnim delovima biljke višestruko prelaze definisani nivo hiperakumulacije ovog metala od 1000 ppm, što je u skladu sa podacima dobijenim prethodnim istraživanjima na drugim lokalitetima. Prema našim saznanjima, konstatovana koncentracija od 14700 ppm u listovima *A. murale* uzorkovanim pored vidikovca Paljba najviša je izmerena koncentracija nikla u listovima ove vrste na području Srbije. Rezultati ukazuju da odabrane ultramafitske površine na Maljenu mogu biti pogodne za analizu mogućnosti kontrolisanog gajenja *A. murale* u cilju fitoekstrakcije nikla.

## Uvod

Ultramafitske stene obuhvataju raznovrsnu grupu vulkanskih stena, veoma bogatih magnezijumom i gvožđem. Zemljišta koja se razvijaju na ultramafitskim supstratima reflektuju sastav matične stene i pored nepovoljnog odnosa Ca/Mg karakteriše ih nizak sadržaj nutrijenata (K, P, N) i silicijuma, kao i visok sadržaj Fe, Ni, Co i Cr (Brooks 1987). Iako ultramafitska zemljišta, zbog svojih fizičkih i hemijskih osobina, predstavljaju nepovoljnu sredinu za razvoj većine biljaka, određene biljne vrste, nazvane serpentinofite, imaju mogućnost da se na njima razvijaju, te je vegetacija na serpentinским zemljištima vrlo raznovrsna (Proctor i Woodel 1975).

Biljke koje naseljavaju zemljišta sa visokim koncentracijama teških metala poseduju adaptacije i mehanizme koji im omogućavaju toleranciju nepovoljnih uslova. Određene biljne vrste sprečavaju usvajanje metala iz zemljišta, održavajući niske koncentracije metala u biljnim tkivima i spadaju u grupu „ekskludera”. Biljke indikatori zadržavaju metale u nadzemnim delovima, ali koncentracija u biljci odgovara koncentraciji metala u zemljištu, dok „akumulatori” zadržavaju metale u nadzemnim delovima biljke nezavisno od koncentracije u zemljištu (Baker 1981). Posebnu grupu akumulatora čine biljke hiperakumulatori koje imaju mogućnost usvajanja i zadržavanja metala u nadzemnim biljnim organima u neobičajeno visokim koncentracijama. Koncentracija u nadzemnim delovima biljaka koja se smatra pragom za hiperakumulaciju iznosi 100 mg/kg za Cd, 300 mg/kg

---

Nikola Joković, Pančevo, Graničarska 27, učenik 3. razreda gimnazije „Uroš Predić” u Pančevu

MENTOR: Tomica Mišljenović, asistent Biološkog fakulteta Univerziteta u Beogradu

Tabela 1. Geografske koordinate lokaliteta sa kojih je izvršeno uzorkovanje

Oznaka lokaliteta	Lokalitet	N	E
L1	Maljen, Poljana	44.13140	20.01673
L2	Maljen, Divčibare, podnožje ski staze Crni vrh	44.10359	20.00008
L3	Maljen, Divčibare, Crni vrh – Čalački potok	44.10659	20.00189
L4	Maljen, Divčibare, Tulimirski podrum – Golubac	44.10746	19.97733
L5	Maljen, Divčibare, Paljba	44.09724	19.96783

za Cu, Co i Cr; 1000 mg/kg za Ni i Pb; 3000 mg/kg za Zn i 10 000 mg/kg za Mn (Van der Ent *et al.* 2013). Najveći broj poznatih biljaka hiperakumulatora su hiperakumulatori nikla. Najveći broj njih su predstavnici familije Brassicaceae, i to, pre svega, vrste iz rodova *Alyssum* i *Noccaea*. U okviru roda *Alyssum* u Evropi je poznato 11 vrsta koje su hiperakumulatori nikla (Cecchi *et al.* 2010), uključujući i kompleks *Alyssum murale*.

*Alyssum murale* Waldst & Kit je fakultativna serpentinofitna, te njeno raspostranjenje nije striktno vezano za ultramafitska zemljišta, ali je mogućnost hiperakumulacije nikla kod ove vrste vezana za populacije koje se razvijaju na ultramafitima. Brojne populacije vrste *A. murale* pronađene su na na planini Maljen (Popović i Obratov-Petković 2006).

Maljen je izgrađen od peridotitskog kompleksa stena u različitim fazama serpentinizacije, koji pretežno gradi harzburgit (Filipović *et al.* 1978). Koncentracije odabranih metala, uključujući nikl, u zemljištu i biljnim tkivima vrste *A. murale* analizirane su na nekoliko lokaliteta u Srbiji (Tumi *et al.* 2012), Bosni i Hercegovini (Matko Stamenković *et al.* 2017), kao i u Albaniji, Grčkoj i Bugarskoj (Bani *et al.* 2010), ali na planini Maljen i pored brojnih populacija ove vrste potencijal za akumulaciju metala nije detaljnije analiziran. Uzimajući u obzir podatke o tome da *A. murale*, zbog značajne produkcije biomase i dobro razvijenog korenovog sistema, predstavlja pogodnu biljnu vrstu za primenu u fitoremedijaciji, kao i potencijal vrste za primenu u rudarstvu, ekstrakcijom nikla i preradom biomase sa ultramafitskih zemljišta (Bani *et al.* 2015), detaljnije poznavanje akumulacionih potencijala ove vrste za odabrane metale, a prvenstveno nikl, je neophodno. Imajući u vidu prethodno navedeno, cilj ovog istraživanja je

utvrđivanje fizičko-hemijskih karakteristika zemljišta, kao i koncentracije odabranih teških metala u podzemnim i nadzemnim delovima vrste *Alyssum murale* sa pet lokaliteta na Maljenu.

## Materijal i metode

Biljke i zemljište su uzorkovani sa pet lokaliteta na Maljenu (zapadna Srbija). Geografske koordinate lokaliteta sa kojih je izvršeno uzorkovanje date su u tabeli 1.

Zemljište (~500 g) je uzorkovano sa dubine od 10 cm u zoni glavnog korena. Korenovi su odvojeni od nadzemnih delova biljaka, potom su temeljno oprani česmenskom, pa demineralizovanom vodom. Listovi su odvojeni od stabla i materijal je osušen na 80°C preko noći. Nakon sušenja je usitnjen do finog praha. Uzorci zemljišta su prosejani kroz sito promera 2 mm i sušeni na temperaturi od 80°C do konstantne mase.

Biljni materijal je pripremljen za kvantitativnu analizu metala tako što je 0.5 g uzorka razloženo mokrom digestijom zagrevanjem u smeši 10 mL HNO<sub>3</sub> i 5 mL H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, dok je 3 g zemlje, razlagano uz zagrevanje u 21 mL HCl i 7 mL HNO<sub>3</sub>, sve dok nisu prestala da se pojavljuju žuta isparenja azotne kiseline (Grubin 2016). Rastvori su filtrirani i normirani na 25 mL (biljni materijal) i 50 mL (zemljište) u normalnim sudovima. Sadržaj metala u uzorcima određen je metodom atomske apsorpcione spektroskopije (AAS). Sve analize su izvršene u triplikatu.

pH zemljišta je merena tako što je u 10g uzorka dodato 25 mL H<sub>2</sub>O (aktivna kiselost) ili 25 mL 1 M KCl (supstituciona kiselost), uzorci su mešani na orbitalnom šejkeru 2 sata, nakon

toga je zemlja filtrirana u tube i centrifugirana 10 minuta na 1000 rpm. Kiselost je izmerena na pH-metru u duplikatu (Reeuwijk 2002).

U cilju utvrđivanja akumulacionih potencijala vrste *A. murale* na istraživanim lokalitetima, izračunate su vrednosti akumulacionog faktora (AF) koje predstavljaju odnos koncentracije metala u listovima i koncentracije datog metala u uzorku zemljišta, kao i translokacionog faktora (TF) koji predstavlja odnos koncentracija metala u listovima i korenu biljaka.

## Rezultati i diskusija

U tabeli 2 su prikazane koncentracije analiziranih metala u zemljištu, kao i vrednosti aktivne (u vodi) i supstitucione (KCl) kiselosti. Koncentracije analiziranih metala u listovima, stablima i korenovima *A. murale* prikazani su u tabeli 3.

Izračunate vrednosti akumulacionog faktora prikazane su u tabeli 4, dok su vrednosti translokacionog faktora prikazane u tabeli 5. Biljka se može smatrati akumulatorom određenog metala ako je vrednost AF veća od 1.0 (Tumi 2013).

Vrednost pH u vodi varira od blago kisele do neutralne, dok su vrednosti supstitucione kiselosti nešto niže i variraju u opsegu od 5.8 do 6.7.

**Nikl.** Nikl se u ultramafitskom zemljištu u proseku nalazi u koncentracijama od 1400 do 2000 mg/kg (Kabata-Pendias 2011), što je u

skladu sa rezultatima ovog istraživanja (tabela 2). Najviša koncentracija nikla u zemljištu zabeležena je na lokalitetu 5 (vidikovac Paljba), na obodu mešovite šume belog i crnog bora. Koncentracija nikla u svim analiziranim biljnim delovima je viša od zabeleženih koncentracija u zemljištu, što ukazuje na aktivno usvajanje ovog metala, uz najviše vrednosti zabeležene u listovima na svim lokalitetima. Pragom hiperakumulacije nikla smatra se koncentracija od 1000 mg/kg u nadzemnim biljnim delovima, dok su koncentracije zabeležene u ovom istraživanju višestruko više. Prema nama dostupnim podacima, koncentracija nikla u listovima izmerena na lokalitetu 5 (vidikovac Paljba) od 14700 mg/kg najviša je zabeležena koncentracija nikla u listovima ove vrste u Srbiji, dok su koncentracije nikla u listovima na svim analiziranim lokalitetima u ovom istraživanju višestruko više od vrednosti zabeleženih na osam drugih ultramafitskih lokaliteta u Srbiji (Tumi *et al.* 2012). Koncentracija nikla od preko 20 000 mg/kg u listovima vrste *A. murale* navodi se u istraživanju Bani i saradnika (2010) za lokalitet Pojska u Albaniji. Visoke vrednosti akumulacionog i translokacionog faktora za nikl izračunate su na svim lokalitetima i predstavljaju jednu od karakteristika biljaka hiperakumulatora. Različiti fiziološki mehanizmi uključeni su u procese detoksifikacije nikla prisutnog u visokim koncentracijama u nadzemnim delovima biljaka

Tabela 2. pH vrednost zemljišta i koncentracija (mg/kg) ispitivanih elemenata u zemljištu, data po lokalitetima. Prikazana je srednja vrednost i standardna devijacija.

Parametar	Lokalitet				
	L1	L2	L3	L4	L5
pH (H <sub>2</sub> O)	7.1	6.7	6.9	7.2	7.0
pH (KCl)	6.6	5.8	6.6	6.7	5.9
Ni (u)	1800 ± 70	1140 ± 50	1860 ± 40	1960 ± 40	2040 ± 50
Mn (u)	2400 ± 300	1750 ± 20	2680 ± 60	1770 ± 60	2580 ± 50
Fe (u)	52000 ± 8000	33000 ± 9000	62700 ± 1400	40000 ± 7000	82000 ± 3000
Zn (u)	242 ± 9	270 ± 30	393 ± 4	390 ± 30	450 ± 50
Cu (u)	29 ± 3	22 ± 3	19.8 ± 1.2	20 ± 2	25.8 ± 0.6
Co (u)	426 ± 6	520 ± 30	700 ± 60	720 ± 70	950 ± 20
Cd (u)	4.9 ± 0.6	7.1 ± 1.1	8.2 ± 0.7	5.1 ± 0.2	5.5 ± 0.6
Pb (u)	100 ± 100	310 ± 70	280 ± 60	62 ± 4	494 ± 18

Tabela 3. Koncentracije ispitivanih elemenata u biljnom materijalu: l – list, s – stablo, k – koren. Prikazana je srednja vrednost i standardna devijacija.

Parametar	Lokalitet				
	L1	L2	L3	L4	L5
Ni (l)	10800 ± 700	80000 ± 900	12000 ± 2000	11400 ± 1100	14700 ± 600
Ni (s)	4300 ± 200	8000 ± 500	3020 ± 180	2630 ± 80	2400 ± 300
Ni (k)	3900 ± 600	5200 ± 400	2340 ± 180	2600 ± 200	3800 ± 300
Mn (l)	53.1 ± 1.8	58.1 ± 1.9	44 ± 4	39.0 ± 1.8	60 ± 2
Mn(s)	23.3 ± 1.3	24.2 ± 0.8	24 ± 2	20.7 ± 1.3	28 ± 5
Mn (k)	26 ± 2	20.4 ± 0.6	28 ± 2	28 ± 5	41.6 ± 1.5
Fe (l)	130 ± 70	95 ± 5	90 ± 50	174 ± 6	139 ± 4
Fe (s)	11 ± 3	38 ± 3	40 ± 10	53 ± 6	42 ± 6
Fe (k)	70 ± 10	68 ± 4	145.0 ± 0.9	140 ± 30	360 ± 10
Zn (l)	25 ± 2	43.1 ± 1.6	29 ± 3	30 ± 4	39 ± 11
Zn (s)	33 ± 4	97 ± 4	41.2 ± 0.2	41.1 ± 0.6	51.2 ± 0.9
Zn (k)	37 ± 5	84 ± 6	44 ± 4	41 ± 4	41.9 ± 1.3
Cu (l)	<0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
Cu (s)	<0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
Cu (k)	<0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
Co (l)	16 ± 3	12.4 ± 1.5	11.0 ± 0.7	12.04 ± 0.06	12.8 ± 0.8
Co (s)	11.5 ± 1.8	9.2 ± 0.5	6.4 ± 0.9	6.4 ± 0.9	9 ± 2
Co (k)	28.8 ± 1.3	32.5 ± 0.6	34.6 ± 0.7	37.4 ± 0.9	40.2 ± 0.7
Cd (l)	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
Cd (s)	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
Cd (k)	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
Pb (l)	1.3 ± 0.2	2.2 ± 0.3	1.4 ± 0.4	4.1 ± 0.3	4.6 ± 0.3
Pb (s)	1.9 ± 0.4	3.5 ± 0.2	1.9 ± 0.3	3.5 ± 0.5	4.0 ± 0.5
Pb (k)	3.5 ± 0.4	3.3 ± 0.3	4.3 ± 0.8	3.7 ± 0.4	5.3 ± 0.2

Tabela 4. Vrednosti akumulacionog faktora (AF)

Lokalitet	Ni	Mn	Fe	Zn	Cu	Co	Cd	Pb
L1	6.04	0.02	0.00	0.10	–	0.04	–	0.01
L2	7.02	0.03	0.00	0.16	–	0.02	–	0.01
L3	6.51	0.02	0.00	0.07	–	0.02	–	0.00
L4	5.81	0.02	0.00	0.08	–	0.02	–	0.07
L5	7.21	0.02	0.00	0.09	–	0.01	–	0.01

hiperakumulatora. Kod vrsta *Alyssum serpyllifolium*, *A. bertolonii* i *A. lesbiacum* većina akumuliranog nikla deponovana je u vakuolama u kompleksima sa organskim kiselinama, što re-

zultira uklanjanjem nikla iz metabolički aktivnih delova ćelije (Seregin i Kozhevnikova 2006).

**Mangan.** Koncentracije mangana zabeležene u zemljištu na svim analiziranim lokalitetima odgovaraju opsegu koncentracija ovog

Tabela 5. Vrednosti translokacionog faktora (TF)

Lokalitet	Ni	Mn	Fe	Zn	Cu	Co	Cd	Pb
L1	2.76	2.05	1.83	0.68	–	0.57	–	0.38
L2	1.53	2.85	1.40	0.52	–	0.38	–	0.66
L3	5.17	1.60	0.62	0.65	–	0.32	–	0.32
L4	4.43	1.39	0.00	0.75	–	0.32	–	1.10
L5	3.88	1.44	0.39	0.94	–	0.32	–	0.87

elementa koje Reeves (2006) navodi za ultramafitska zemljišta. Mangan se najčešće akumulira u listovima, što je posledica njegove uloge u fotosintezi. Koncentracije mangana u svim analiziranim biljnim delovima višestruko su niže od koncentracija Mn u zemljištu. Sadržaj Mn u biljnim tkivima u velikoj meri zavisi od biljne vrste, razvojnog stadijuma, kao i staništa na koje se biljka razvija. Toksične koncentracije Mn za biljke takođe značajno variraju u zavisnosti od vrste, ali većina biljaka pokazuje znake toksičnosti pri koncentracijama Mn u biljnim tkivima iznad 400 mg/kg (Kabata-Pendias 2011).

**Gvožđe.** Gvožđe čini 5% Zemljine litosfere, a njegova geohemija je vrlo kompleksna i prvenstveno određena lakim promenama oksidacionog stanja sa promenama fizičko-hemijskih uslova (Kabata-Pendias 2011). Pokazano je da gvožđe deluje antagonistički na usvajanje nekih toksičnih metala, poput nikla, mangana, kobalta i kadmijuma, tako što gradi komplekse sa njima i imobilise ih (Grubin 2016). Visoke koncentracije gvožđa u zemljištu na svim analiziranim lokalitetima odgovaraju očekivanim vrednostima Fe za ultramafitska zemljišta (Brooks 1987), dok je sadržaj u biljnim delovima višestruko niži. Izmerene koncentracije gvožđa u biljnom materijalu spadaju u opseg normalnih vrednosti unutar biljke (100–700 ppm) prema Reeves i Baker (2000).

**Cink.** Koncentracije cinka u uzorcima zemljišta sa svih analiziranih lokaliteta znatno su više od proseka za ultramafitska zemljišta koji se kreće u opsegu od 40 do 60 mg/kg (Kabata-Pendias 2011). Najviša koncentracija cinka nalazi se u korenu i stablu analiziranih biljaka. Izmerene koncentracije spadaju u opseg normalnih vrednosti unutar biljke (27–150 mg/kg). Utvrđene koncentracije cinka u biljnim delovima mogu biti

rezultat i niže dostupnosti cinka u zemljištu, koja u ovom istraživanju nije analizirana.

**Bakar.** Bakar se u zemljinoj kori nalazi u proseku od 55 mg/kg, dok su u našem istraživanju koncentracije bakra bile ispod nivoa detekcije i u zemljištu i u analiziranim biljnim delovima. Niske koncentracije bakra zabeležene su i na nekoliko ultramafitskih lokaliteta u Srbiji u istraživanju Tumi i saradnika (2012), kao i u biljnim delovima. Apsorpcija bakra je generalno niska, usled slabe mobilnosti molekula, dok se većina usvojenog bakra zadržava u korenu (Kabata-Pendias 2011).

**Kobalt.** Zabeležene koncentracije kobalta u uzorcima zemljišta odgovaraju prosečnim vrednostima za ultramafitska zemljišta koje navodi Brooks (1987), dok su koncentracije u biljnim delovima višestruko niže. Smatra se da u ultramafitskim zemljištima visoke koncentracije Ni mogu da sprečavaju usvajanje Co (Malik *et al.* 2000). Niske vrednosti akumulacionog i translokacionog faktora ukazuju na to da se ovaj element slabo usvaja i da se najveći deo usvojenog Co zadržava u korenu.

**Kadmijum.** U zemljištu na svim ispitivanim lokalitetima su zabeležene niske koncentracije kadmijuma, dok su koncentracije u svim biljnim delovima bile ispod nivoa detekcije korišćene metode, što je u skladu sa rezultatima Tumi i saradnika (2012) na nekoliko ultramafitskih lokaliteta u Srbiji, kao i istraživanjem Matko Stamenković i saradnika (2017) na ultramafitskim lokalitetima u Bosni i Hercegovini.

**Olovo.** Olovo je u zemljištu u proseku prisutno u koncentracijama od 10 do 100 mg/kg (Kabata-Pendias 2011), dok su koncentracije na istraživanim lokalitetima nešto više. Koncentracije Pb u biljnom materijalu na svim lokalitetima su vrlo niske, sa najvišom izmerenom

koncentracijom od 5.3 mg/kg u korenu na lokalitetu 5. Najveća količina akumuliranog olova zadržava se u korenu, usled njegove slabe mobilnosti. Na dostupnost olova u zemljištu može uticati sadržaj fosfora ili organskog ugljenika, ali te parametre nije bilo moguće izmeriti u ovom istraživanju (Koepe 1977).

## Zaključak

Na osnovu navedenih podataka, zaključuje se da je *A. murale* sa ultramafitskih zemljišta Maljena pogodan kandidat za fitoekstrakciju nikla, usled visoke produkcije biomase, aktivnog usvajanja i translokacije ovog metala u nadzemne delove u izuzetno visokim koncentracijama. Zabeležene koncentracije nikla u nadzemnim delovima biljaka u našem istraživanju znatno su više u odnosu na zabeležene koncentracije nikla u nadzemnim delovima ove vrste na drugim, do sada analiziranim, ultramafitskim lokalitetima u Srbiji. Dobijeni rezultati ukazuju na to da odabrane ultramafitske površine na Maljenu mogu biti pogodne za uspostavljanje pilot površina za analiziranje mogućnosti kontrolisanog gajenja *A. murale* u cilju fitoekstrakcije nikla. Optimizacija fitoekstrakcije nikla i plantažno gajenje *A. murale* na slabo produktivnom poljoprivrednom zemljištu uz primenu osnovnih agrotehničkih mera na ultramafitima Maljena može predstavljati potencijalnu šansu za korišćenje napuštenih poljoprivrednih parcela na ovom području i dodatni izvor prihoda za lokalno stanovništvo. Za realizaciju ove ideje potrebna su dalja istraživanja i uspostavljanje saradnje sa lokalnim stanovništvom.

## Literatura

- Baker A. J. M. 1981. Accumulators and excluders – strategies in the response of plants to heavy metals. *Journal of Plant Nutrition*, **3**, 643.
- Bani A., Echevarria G., Sulçe S., Morel J.-L. 2015. Improving the agronomy of *Alyssum murale* for extensive phytomining: a five-year field study. *International Journal of Phytoremediation*, **17**(2): 117.
- Bani A., Pavlova D., Echevarria G., Mullaj A., Reeves R. D., Morel J.L., Sulçe S. 2010. Nickel hyperaccumulation by the species of *Alyssum* and *Thlaspi* (Brassicaceae) from the ultramafic soils of the Balkans. *Botanica Serbica*, **34**(1): 3.
- Brooks R. R. 1987. *Serpentine and its vegetation: a multidisciplinary approach*. Dioscorides Press
- Cecchi L., Gabbrielli R., Arnetoli M., Gonnelli C., Hasko A., Selvi F. 2010. Evolutionary lineages of nickel hyperaccumulation and systematics in European Alyseae (Brassicaceae): evidence from nrDNA sequence data. *Annals of Botany*, **106**(5): 751.
- Filipović I., Marković B., Pavlović Z., Rodin V., Marković O. 1978. *Osnovna geološka karta SFRJ 1: 100000. Tumač za list Gornji Milanovac L34-137*. Beograd: Savezni geološki zavod
- Grubin J. B. 2016. Sezonске promene u sadržaju toksičnih metala u zemljištu i listovima zimzelenih vrsta *Prunus laurocerasus* L., *Buxus sempervirens* L. i *Mahonia aquifolium* (Purch) Nutt. na području grada Beograda. Doktorska disertacija. Biološki fakultet Univerziteta u Beogradu
- Kabata-Pendias A. 2011. *Trace elements in soils and plants*. CRC press
- Koepe D. E. 1977. The uptake, distribution, and effect of cadmium and lead in plants. *Science of the Total Environment*, **7**(3): 197.
- Malik M., Chaney R. L., Brewer E. P., Li Y. M., Angle J. S. 2000. Phytoextraction of soil cobalt using hyperaccumulator plants. *International Journal of Phytoremediation*, **2**(4): 319.
- Matko Stamenković U., Andrejić G., Mihailović N., Šinžar-Sekulić J. 2017. Hyperaccumulation of Ni by *Alyssum murale* Waldst. & Kit. from ultramafics in Bosnia and Herzegovina. *Applied ecology and environmental research*, **15**(3): 359.
- Nešić N. 2011. *Fitoremedijacija i biljke pogodne za fitoremedijaciju voda zagađenih teškim metalima*. Beograd: Institut za multidisciplinarna istraživanja
- Popović I., Obratov-Petković D. 2006. Analiza biološkog spektra flore Divčibara. *Glasnik šumarskog fakulteta Beograd*, **93**: 143.
- Proctor J., Woodell S. R. 1975. The ecology of serpentine soils. *Advances in ecological research*, **9**: 255.
- Reeuwijk L. P. 2002. *Procedures for soil analysis*. International Soil Reference and Information Centre
- Reeves R. D. 2006. Hyperaccumulation of trace elements by plants. U *Phytoremediation of*

*metal-contaminated soils* (ur. J-L. Morel). Springer, str. 25-52.

Reeves R. D., Baker A. J. M. 2000. Metal-accumulating plants. U *Phytoremediation of toxic metals: using plants to clean up the environment* (ur. I. Raskin i B. D. Ensley). Wiley, str. 193–229.

Seregin I. V., Kozhevnikova A. 2006. Physiological role of nickel and its toxic effects on higher plants. *Russian Journal of Plant Physiology*, **53**(2): 257.

Tumi A. F. Bioaccumulation potential of selected plant species of the family Brassicaceae from serpentine habitats in Serbia. Doktorska disertacija. Biološki fakultet Univeziteta u Beogradu

Tumi A. F., Mihailović N., Gajić B. A., Tomović G., Niketić M. 2012. Comparative Study of Hyperaccumulation of Nickel by *Alyssum murale* s. L. Populations from the Ultramafics of Serbia. *Polish Journal of Environmental Studies*, **21**(6): 1855.

Van der Ent A., Baker A. J. M., Reeves R. D., Pollard A. J., Schat H. 2013. Hyperaccumulators of metal and metalloid trace elements: facts and fiction. *Plant and Soil*, **362**(1-2): 319.

---

Nikola Joković

## Potential for Nickel Hyperaccumulation of *Alyssum murale* Waldst & Kit s. l. Growing on Ultramafics of Mt. Maljen (Western Serbia)

The mountain range Maljen in the western part of central Serbia is built mainly from peridotite in different stages of serpentinization. The land that develops on serpentinites is characterized by a low concentration of nutrients (K, P, N), increased concentration of toxic metals (Ni, Cr, Co, Fe), and an unfavorable concentration of Mg and Ca concentrations. On the ultramafics of Maljen numerous populations of the species *Alyssum murale* Waldst & Kit, a facultative

serpentinophyte, widely distributed in SE Europe and SW Asia, are present. The aim of this study was to analyze the content of nickel and selected toxic metals in the soil, roots, shoots and leaves of the species *Alyssum murale* on the ultramafics of Maljen. Samples of soil and plant material were collected in July 2017 from 5 sites on Maljen Mt., and the content of metals in samples was determined by the method of atomic absorption spectroscopy.

High levels of Ni (1150–2050 ppm), Mn (1700–2600 ppm) and Fe (29000–82000 ppm) were observed in the soil at all investigated sites. The content of Ni in all analyzed plant organs is higher than the concentration of this element in the analyzed soil samples, indicating its active accumulation. The nickel content in the roots of *Alyssum murale* in Maljen ranges from 2300 to 5200 ppm, from 2400 to 8000 ppm in the shoots, while concentrations in the leaves are in the range of 8000 to 14700 ppm. The determined concentrations of nickel in the above-ground parts of the plant *Alyssum murale* exceeded the defined level of hyperaccumulation of 1000 ppm for this metal, which is in accordance with the data obtained from previous research at other sites. The *Alyssum murale* is a known hyperaccumulator of Ni on serpentine soil, but there are very few studies in Serbia on the content of toxic metals in this species. According to our knowledge, the concentration of nickel of 14700 ppm in the leaves of *A. murale* next to the viewpoint Paljba at Maljen is the highest concentration of nickel in the leaves of this species on the territory of Serbia. High biomass production, tolerance to high concentrations of toxic metals in the soil, as well as the pronounced possibility of nickel hyperaccumulation and its active translocation into the above-ground plant organs makes the species *A. murale* a very suitable candidate for the phytoextraction of this metal from contaminated soil. Phytoextraction is a land remediation technology that is cheaper than conventional methods, and detailed studies of the possibility of using this species at nickel contaminated sites in Serbia should be carried out. 