

UNIVERZITET U BEOGRADU  
TEHNIČKI FAKULTET U BORU

Jelena V. Kalinović

**MOGUĆNOSTI KORIŠĆENJA ŠIPURKA,  
GLOGA I TRNJINE U BIOMONITORINGU  
I FITOREMEDIJACIJI**

doktorska disertacija

Bor, 2019.

UNIVERSITY OF BELGRADE  
TECHNICAL FACULTY IN BOR

Jelena V. Kalinović

**POSSIBILITIES OF USING WILD ROSE,  
HAWTHORN AND BLACKTHORN FOR  
BIOMONITORING AND  
PHYTOREMEDIATION**

Doctoral Dissertation

Bor, 2019.

## **Komisija za pregled i odbranu doktorske disertacije**

**Mentor:** **Dr Snežana Šerbula, redovni profesor**  
Univerzitet u Beogradu, Tehnički fakultet u Boru

**Članovi komisije:** **Dr Snežana Milić, redovni profesor**  
Univerzitet u Beogradu, Tehnički fakultet u Boru

**Dr Radmila Garić-Grulović, naučni savetnik**  
Univerzitet u Beogradu, Institut za hemiju, tehnologiju i  
metalurgiju, Beograd

**Dr Nevenka Bošković Vragolović, redovni profesor**  
Univerzitet u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet u  
Beogradu

**Dr Dejan Tanikić, vanredni profesor**  
Univerzitet u Beogradu, Tehnički fakultet u Boru

Datum odbrane: \_\_\_\_\_

## **Zahvalnost**

*Srdačno se zahvaljujem svom mentoru dr Snežani M. Šerbula, redovnom profesoru Tehničkog fakulteta u Boru, na nesebičnoj pomoći, sugestijama, podršci i razumevanju tokom izrade doktorske disertacije, kao i tokom naše saradnje.*

*Zahvaljujem se članovima komisije, dr Snežani Milić, dr Radmili Garić-Grulović, dr Nevenki Bošković Vragolović i dr Dejanu Tanikiću na saradnji, stručnoj pomoći i korisnim sugestijama tokom izrade doktorske disertacije.*

*Zahvaljujem se koleginicama dr Ani Radojević i dr Tanji Kalinović, na velikoj pomoći, podršci i razumevanju koje su mi pružile tokom celokupne izrade doktorske disertacije. Takođe, zahvaljujem se i kolegini Jeleni Milosavljević na korisnim sugestijama i saradnji.*

*Zahvalnost dugujem prof. engleskog jezika Mari Manzalović na sugestijama vezanim za stručni prevod.*

*Zahvaljujem se direktoru Instituta za rudarstvo i metalurgiju u Boru, dr Miletu Bugarinu, i koleginicama Mirjani Šteharnik i Jeleni Petrović, što su omogućili rastvaranje i hemijsku analizu uzoraka.*

*Zahvaljujem se kolegi Bobanu Spaloviću, kao i ostalim kolegama sa Tehničkog fakulteta u Boru sa kojima sam ostvarila saradnju.*

*Ova doktorska disertacija je urađena na Tehničkom fakultetu u Boru, Univerziteta u Beogradu, u okviru projekta Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije, br. III46010, pod nazivom „Razvoj novih inkapsulacionih i enzimskih tehnologija za proizvodnju biokatalizatora i biološki aktivnih komponenata hrane u cilju povećanja njene konkurentnosti, kvaliteta i bezbednosti“.*

*Autor*



## Mogućnosti korišćenja šipurka, gloga i trnjine u biomonitoringu i fitoremedijaciji

### Sažetak

Doktorska disertacija predstavlja rezultat istraživanja mogućnosti korišćenja šipurka (*Rosa* spp.), gloga (*Crataegus* spp.) i trnjine (*Prunus* spp.) u biomonitoringu zagađenja vazduha i fitoremedijaciji kontaminiranog zemljišta. Na ispitivanom području Bora i okoline, na različitim udaljenostima od rudarsko-metalurškog kompleksa za proizvodnju bakra, odlagališta raskrivke sa površinskih kopova ruda bakra i flotacijskih jalovišta, obavljeno je uzorkovanje zemljišta i biljnog materijala. Koncentracije elemenata (Al, As, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni, Pb i Zn) određivane su u zemljištu iz zone korena, kao i delovima (korenu, granama, plodovima, neoprano i oprano lišću) sve tri biljne vrste. Prekoračenje zakonom propisanih graničnih i remedijacionih vrednosti elemenata u zemljištu i visoke vrednosti faktora obogaćenja, ukazivale su na kontaminaciju zemljišta iz zone korena šipurka, gloga i trnjine, u najvećoj meri sa As, Cd i Cu (nešto manje sa Mo, Pb i Zn), na mestima uzorkovanja u blizini izvora zagađenja ili na pravcima dominantnih vetrova. Analizom i upoređivanjem koncentracija elemenata u biljnom materijalu šipurka, gloga i trnjine, utvrđeno je da je lišće sve tri biljne vrste najpogodnije za identifikaciju područja sa najvećim stepenom zagađenja (osim Zn za čiju su se indikaciju osim lišća kao pogodni delovi pokazale grane i koren). Na minimalno jednom mestu uzorkovanja za svaku biljnu vrstu, oprano lišće je sadržalo As i Cu u toksičnim koncentracijama. Na osnovu vrednosti faktora obogaćenja biljnog materijala, koje su se kretale od značajnih do ekstremnih za As, Cu i Pb, i u kategoriji umerenih za Fe, Mo i Zn na većini mesta uzorkovanja, zaključeno je da je rudarsko-metalurška proizvodnja bakra primarni izvor ovih elemenata u životnoj sredini ispitivanog područja, dok se uticaj na veće koncentracije Mn, Ni i Cr primećivao jedino u uzorcima sa najzagađenijih mesta. Prisustvo elemenata u atmosferskoj depoziciji, na osnovu razlika koncentracija elemenata u neoprano i oprano lišću sve tri biljke, potvrđen je za većinu ispitivanih elemenata, pri čemu su najveće razlike koncentracija dobijene za Al (na mestima u industrijskoj zoni), kao i za Fe i Cu, naročito na mestima u urbano-industrijskoj i ruralnoj zoni. Analizom podataka zaključeno je da su šipurak, glog i trnjina razvili mehanizme za adaptaciju na područjima sa različitim stepenom zagađenja, što ih čini tolerantnim biljnim vrstama, iako nisu pogodne biljne vrste za svrhe fitoremedijacije.

**Ključne reči:** Biomonitoring, fitoremedijacija zemljišta, šipurak (*Rosa* spp.), glog (*Crataegus* spp.), trnjina (*Prunus* spp.), bakar, arsen, rudarsko-metalurška proizvodnja bakra, biološki faktori.

**Naučna oblast:** Tehničko-tehnološke nauke

**Uža naučna oblast:** Tehnološko inženjerstvo

**UDK broj:** 502/504(043.3)

502.175(043.3)

## **Possibilities of using wild rose, hawthorn and blackthorn for biomonitoring and phytoremediation**

### **Abstract**

The doctoral dissertation represents the results of the research which indicate possibilities of using wild rose (*Rosa* spp.), hawthorn (*Crataegus* spp.) and blackthorn (*Prunus* spp.) for biomonitoring of air pollution and phytoremediation of contaminated soil. In the study area of Bor and its surroundings, sampling of soil and plant material was performed at various distances from the mining-metallurgical complex of copper production, ore waste heaps from the copper mines and flotation tailing ponds. Element concentrations (Al, As, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni, Pb and Zn) were determined in the root zone soil, as well as in the parts (root, branches, fruits, unwashed and washed leaves) of the examined plant species. Exceedings of the limit and remediation values for the element concentrations in the soil, proposed by the Serbian Regulation, and the high values of the soil enrichment factors, indicated the contamination of the root zone soil of wild rose, hawthorn and blackthorn, mostly with As, Cd and Cu (somewhat less with Mo, Pb and Zn) at the sampling sites in the close vicinity of the pollution sources or in the prevailing wind directions. By analyzing and comparing the element concentrations in the plant material of wild rose, hawthorn and blackthorn, it was concluded that the leaves of all the three examined plant species are the most adequate for distinguishing the areas with the highest pollution degrees (except for Zn, in which case the branches and root, besides leaves, are shown as suitable). At least at one sampling site, for each plant species, the washed leaves contained As and Cu in the toxic concentrations. Based on the values of enrichment factors for plant material, which ranged from significant to extreme for As, Cu and Pb, and moderate for Fe, Mo and Zn at the most sampling sites, it was concluded that the mining-metallurgical copper production was the primary source of these elements in the environment of the study area, while the influence on higher concentrations of Mn, Ni and Cr was observed only in the samples from the most polluted sites. The presence of the elements in the atmospheric depositions, based on the differences in the element concentration in the unwashed and washed leaf samples of all the three examined plants, was confirmed for most of the investigated elements, while the largest differences in the concentrations were obtained for Al (at the sites in the industrial zone), as well as for Fe and Cu, especially in the urban-industrial and rural zones. After the data analyses, we can draw a conclusion that wild rose, hawthorn and blackthorn are not suitable plant species for the phytoremediation purposes, although they have developed adaptive mechanism in the areas with different pollution degrees, which classifies them as tolerant plant species.

**Key words:** Biomonitoring, soil phytoremediation, wild rose (*Rosa* spp.), hawthorn (*Crataegus* spp.), blackthorn (*Prunus* spp.), copper, arsenic, mining-metallurgical copper production, biological factors.

**Scientific field:** Technical-technological sciences

**Scientific subfield:** Technological engineering

**UDC numbers:** 502/504(043.3)

502.175(043.3)

## Sadržaj:

<b>1. UVOD</b>	<b>1</b>
<b>2. TEORIJSKI DEO</b>	<b>3</b>
<b>2.1. Esencijalni i neesencijalni elementi u biljkama</b>	<b>3</b>
<b>2.2. Usvajanje elemenata od strane biljaka iz vazduha</b>	<b>5</b>
<b>2.2.1. Biomonitoring</b>	<b>7</b>
<b>2.3. Usvajanje elemenata od strane biljaka iz zemljišta</b>	<b>9</b>
<b>2.3.1. Podela biljaka prema načinu usvajanja elemenata</b>	<b>12</b>
<b>2.3.2. Fitoremedijacija</b>	<b>14</b>
<b>3. LITERATURNI PREGLED DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA</b>	<b>17</b>
<b>3.1. Šipurak (<i>Rosa</i> spp.)</b>	<b>17</b>
<b>3.2. Glog (<i>Crataegus</i> spp.)</b>	<b>27</b>
<b>3.3. Trnjina (<i>Prunus</i> spp.)</b>	<b>35</b>
<b>4. OSNOVNE HIPOTEZE I CILJ RADA</b>	<b>39</b>
<b>5. MATERIJALI I METODE RADA</b>	<b>42</b>
<b>5.1. Opis ispitivanog područja</b>	<b>42</b>
<b>5.1.1. Meteorološki parametri ispitivanog područja</b>	<b>42</b>
<b>5.1.2. Osnovne delatnosti u Boru - rudarstvo i metalurgija</b>	<b>43</b>
<b>5.1.3. Zagađujuće supstance u Boru i okolini</b>	<b>48</b>
<b>5.2. Uzorkovanje biljnog materijala i zemljišta</b>	<b>52</b>
<b>5.2.1. Opis zona i mesta uzorkovanja biljnog materijala i zemljišta</b>	<b>52</b>
<b>5.2.2. Opis procedure uzorkovanja biljnog materijala i zemljišta</b>	<b>56</b>
<b>5.3. Priprema uzoraka biljnog materijala i zemljišta za analizu</b>	<b>56</b>
<b>5.4. Određivanje sadržaja organskih materija u zemljištu</b>	<b>57</b>
<b>5.5. Određivanje kiselosti uzorkovanog zemljišta</b>	<b>58</b>
<b>5.6. Mikrotalasno rastvaranje uzoraka zemljišta i biljnog materijala</b>	<b>59</b>
<b>5.7. Određivanje koncentracija elemenata u zemljištu i biljnom materijalu</b>	<b>60</b>
<b>5.8. Metode statističke obrade podataka</b>	<b>60</b>
<b>5.9. Biološki faktori</b>	<b>61</b>

---

5.9.1. Kriterijumi za definisanje mogućnosti korišćenja biljaka u fitoremedijaciji	63
<b>6. REZULTATI I DISKUSIJA</b>	<b>64</b>
6.1. Karakteristike zemljišta iz zone korena šipurka, gloga i trnjine	64
6.1.1. Sadržaj organskih materija u uzorkovanom zemljištu	64
6.1.2. Kiselost uzorkovanog zemljišta	65
6.2. Elementi u zemljištu na ispitivanom području Bora i okoline	66
6.2.1. Aluminiјum u zemljištu iz zone korena ispitivanih biljnih vrsta	66
6.2.2. Arsen u zemljištu iz zone korena ispitivanih biljnih vrsta	68
6.2.3. Kadmijum u zemljištu iz zone korena ispitivanih biljnih vrsta	69
6.2.4. Kobalt u zemljištu iz zone korena ispitivanih biljnih vrsta	71
6.2.5. Hrom u zemljištu iz zone korena ispitivanih biljnih vrsta	72
6.2.6. Bakar u zemljištu iz zone korena ispitivanih biljnih vrsta	73
6.2.7. Gvožđe u zemljištu iz zone korena ispitivanih biljnih vrsta	75
6.2.8. Mangan u zemljištu iz zone korena ispitivanih biljnih vrsta	77
6.2.9. Molibden u zemljištu iz zone korena ispitivanih biljnih vrsta	78
6.2.10. Nikl u zemljištu iz zone korena ispitivanih biljnih vrsta	79
6.2.11. Olovo u zemljištu iz zone korena ispitivanih biljnih vrsta	81
6.2.12. Cink u zemljištu iz zone korena ispitivanih biljnih vrsta	82
6.2.13. Analiza korelacija između koncentracija elemenata u zemljištu i parametara zemljišta na ispitivanom području	83
6.2.14. Analiza korelacija između koncentracija elemenata u zemljištu iz zone korena šipurka, gloga i trnjine na ispitivanom području	85
6.2.15. Statističke značajnosti razlika koncentracija elemenata u zemljištu šipurka, gloga i trnjine između kontrolnog i ostalih mesta uzorkovanja	87
6.3. Mogućnosti korišćenja biljnog materijala šipurka, gloga i trnjine u biomonitoringu	90
6.3.1. Aluminiјum u biljnom materijalu šipurka, gloga i trnjine	90

---

6.3.2. Arsen u biljnom materijalu šipurka, gloga i trnjine	94
6.3.3. Kadmijum u biljnom materijalu šipurka, gloga i trnjine	98
6.3.4. Kobalt u biljnom materijalu šipurka, gloga i trnjine	103
6.3.5. Hrom u biljnom materijalu šipurka, gloga i trnjine	106
6.3.6. Bakar u biljnom materijalu šipurka, gloga i trnjine	111
6.3.7. Gvožđe u biljnom materijalu šipurka, gloga i trnjine	115
6.3.8. Mangan u biljnom materijalu šipurka, gloga i trnjine	119
6.3.9. Molibden u biljnom materijalu šipurka, gloga i trnjine	123
6.3.10. Nikl u biljnom materijalu šipurka, gloga i trnjine	126
6.3.11. Olovo u biljnom materijalu šipurka, gloga i trnjine	130
6.3.12. Cink u biljnom materijalu šipurka, gloga i trnjine	134
6.3.13. Atmosferska depozicija na lišću šipurka, gloga i trnjine	138
6.3.14. Korelacije elemenata u biljnom materijalu	145
6.3.14.1. Korelacije elemenata u biljnom materijalu šipurka	145
6.3.14.2. Korelacije elemenata u biljnom materijalu gloga	151
6.3.14.3. Korelacije elemenata u biljnom materijalu trnjine	156
6.4. Biološki faktori i mogućnosti korišćenja šipurka, gloga i trnjine u fitoremedijaciji zemljišta	161
6.4.1. Biološki faktori za šipurak	161
6.4.1.1. Mogućnosti korišćenja šipurka u fitoremedijaciji	163
6.4.2. Biološki faktori za glog	167
6.4.2.1. Mogućnosti korišćenja gloga u fitoremedijaciji	168
6.4.3. Biološki faktori za trnjinu	173
6.4.3.1. Mogućnosti korišćenja trnjine u fitoremedijaciji	174
7. ZAKLJUČAK	179
8. LITERATURA	184
9. PRILOZI	194

## 1. UVOD

Antropogeni uticaj na životnu sredinu privlači sve veću pažnju brojnih istraživača. Zagađenje toksičnim i potencijalno toksičnim elementima posledica je antropogenih aktivnosti, kao što su: rudarenje, topljenje ruda metala, proizvodnja cementa, sagorevanje fosilnih goriva, saobraćaj, spaljivanje otpada, poljoprivredne aktivnosti i drugo (Çelik i sar., 2005; Hooda, 2007; Lehndorff i Schwark, 2010; Muhammad i sar., 2011; Rucandio i sar., 2011; Yildirim i Sasmaz, 2017). Odnos između emisije zagađujućih supstanci i nivoa zagađenja životne sredine zavisi od više faktora. Tako na primer, infrastruktura i plan grada mogu odrediti obrazac emisije, dok meteorologija i topografija utiču na transformaciju i disperziju zagađujućih supstanci u naseljenim područjima (Rucandio i sar., 2011).

Rudarske aktivnosti, kao što su mlevenje, usitnjavanje i koncentrisanje rude očigledni su izvori kontaminacije životne sredine (Boamponsem i sar., 2010; Koz i sar., 2012), kao i odlaganje velikih količina lomljenog otpadnog kamena (u vidu raskrivke) i jalovine sa visokim koncentracijama rezidua elemenata, koje se skladište na površini zemljišta. Otpad koji ostane netretiran i nakon zatvaranja rudnika je vrlo nestabilan i predstavlja veliki ekološki problem zbog štetnog uticaja na živi svet i potencijalne akumulacije kroz lanac ishrane (Yanqun i sar., 2004; Reglero i sar., 2008; Nouri i sar., 2011; Ghaderian i Ravandi, 2012).

Tokom poslednjih decenija, sve je veća zabrinutost zbog uticaja atmosferskih čestica na različita oboljenja respiratornog i kardiovaskularnog sistema, kao i bolesti kože kod ljudi. Shodno tome, neophodna je stalna kontrola nivoa metala i drugih zagađujućih supstanci u životnoj sredini (Boamponsem i sar., 2010; Koz i sar., 2012). Zbog velikih troškova i nedostatka dovoljno osetljivih i ekonomski pristupačnih tehnika koje omogućavaju simultano praćenje i merenje većeg broja zagađujućih supstanci, potrebnih kontrola je nedovoljno. Kao metoda koja poseduje navedene karakteristike može se upotrebiti biomonitoring. Biomonitoring u opštem smislu se odnosi na korišćenje bioloških organizama ili materijala za dobijanje kvantitativne ili kvalitativne informacije o određenim karakteristikama biosfere (Wolterbeek, 2002). Fitoremedijacija predstavlja inovativnu, ekonomičnu i estetski prihvatljivu metodu koja podrazumeva korišćenje različitih biljnih vrsta za degradaciju, ekstrakciju, zadržavanje ili

imobilizaciju zagađujućih supstanci iz zemljišta ili voda, sa ciljem da se zagađeni medijumi obnove i vrate u stanje koje može biti korisno za dalju primenu (USEPA, 2000; Peer i sar., 2005).

Veliki broj biljaka se može koristiti u svrhe biomonitoringa i fitoremedijacije, od kojih se mahovine, lišajevi ili više biljke najviše primenjuju. Lekovite biljke imaju veliki ekonomski značaj za prehrambenu, farmaceutsku i kozmetičku industriju, zbog čega proizvodi na bazi prirodnih sastojaka imaju veću vrednost od ostalih. Međutim, lekovito bilje nije izuzeto od antropogenog uticaja (Masarovičová i Král'ová, 2012). Mnoge lekovite biljke i njihove mešavine mogu predstavljati rizik po zdravlje ljudi usled prisustva toksičnih elemenata (Başgel i Erdemoğlu, 2006). Važno je praćenje koncentracija elemenata u zemljištu, šumskom bilju, voću i njihovim proizvodima, jer se mnoge od ovih vrsta koriste u ishrani i narodnoj medicini (Randjelovic i sar., 2014). Osim toga, neke od biljaka se upravo koriste u alternativnoj medicini zbog sadržaja esencijalnih elemenata i terapijskog efekta (Gentscheva i sar., 2010). Sa druge strane, neke lekovite biljke stvaraju specifične sekundarne metabolite, koji utiču na detoksikaciju nekih toksičnih metala, zbog čega lekovito bilje može imati i neke netradicionalne primene, kao na primer u fitoremedijacionim tehnologijama (Masarovičová i Král'ová, 2012).

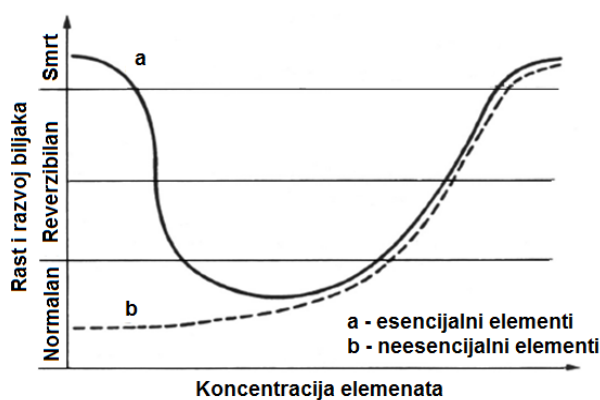
Negativan uticaj zagađenja koji se ogleda kroz promene u ekosistemima, kao što su degradacija obradivog zemljišta, šuma, pašnjaka, gubici u poljoprivrednoj proizvodnji i negativni uticaji na biodiverzitet, razlog je zbog koga savremeno društvo monitoring zagađenja životne sredine smatra neophodnim. U te svrhe, kao dobra alternativa već postojećim metodama, sve više se koristi analiza zemljišta i biljnog materijala koja predstavlja korisno sredstvo za procenu kvaliteta životne sredine na određenom geografskom području. Važno je imati dobru kontrolu kvaliteta lekovitih i drugih biljaka, jer mogu predstavljati rizik po zdravlje zbog prisustva toksičnih elemenata.



## 2. TEORIJSKI DEO

### 2.1. Esencijalni i neesencijalni elementi u biljkama

Određeni elementi, kao što su Al, Co, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni, Zn i drugi, esencijalni su za normalan razvoj biljaka (Shah i Nongkynrih, 2007; Kabata-Pendias, 2011; Zeng i sar., 2011; Tokaloğlu, 2012; Randjelovic i sar., 2014; Vural, 2015a). Međutim, oni takođe mogu imati toksične efekte ukoliko se usvajaju u visokim koncentracijama (Desideri i sar., 2010; Kabata-Pendias, 2011; Ghaderian i Ravandi, 2012). Na primer, mikronutrijenti Cu, Fe, Mn i Zn, koji nisu samo konstitutivni, već imaju specifične funkcije u procesima rasta biljaka, fotosinteze i disanja, u prevelikim koncentracijama mogu biti toksični za biljke. Koncentracije u zemljištu iznad 20 µg/g Cu, 50 µg/g Fe, 300 µg/g Mn i 400 µg/g Zn su toksične za biljke. Sa druge strane, ovi elementi su značajni za fiziologiju biljaka kada su prisutni u odgovarajućoj količini (Sekeroglu i sar., 2008; de Paula i sar., 2015). Ukoliko snabdevanje biljaka esencijalnim elementima nije adekvatno, njihov rast je neuobičajeno brz ili veoma usporen, a razvoj i metabolički ciklusi su narušeni. Iako se simptomi deficita elemenata ne mogu generalizovati, oni su karakteristični za pojedinačne elemente, pri čemu se najčešće javlja hloroza (Kabata-Pendias, 2011). Neki elementi, kao što su Ag i Au, imaju stimulativan efekat na rast biljaka, ali se ne smatraju esencijalnim (Peralta-Videa i sar., 2009). Na slici 1, prikazane su reakcije biljaka u zavisnosti od koncentracija esencijalnih i neesencijalnih elemenata.



**Slika 1.** Ponašanje biljaka usled povećanja koncentracija esencijalnih i neesencijalnih elemenata (Kabata-Pendias, 2011)

Neesencijalni elementi, kao što su Pb, Cd, As i drugi, nemaju poznatih korisnih svojstava i smatraju se toksičnim po biljke čak i u vrlo niskim koncentracijama (Desideri i sar., 2010; Tokaloğlu, 2012; Randjelovic i sar., 2014; Vural, 2015a). Međutim, procena sadržaja toksičnih elemenata i njihovog uticaja na biljke je vrlo kompleksna, jer zavisi od brojnih faktora. Generalno, biljke su mnogo otpornije na povećane nego na nedovoljne koncentracije elemenata. Tolerancija nekih biljaka na povećane koncentracije elemenata u njihovim delovima, ali i u medijumu na kojem rastu, predstavlja rizik za zdravlje ljudi i životinja (npr. Cd je jako toksičan za ljude, a biljke ga tolerišu u većim koncentracijama). Toksične koncentracije elemenata u biljkama je vrlo teško uspostaviti. Vidljivi simptomi toksičnosti karakteristični su za svaku biljnu vrstu, čak i za pojedinačnu biljku, ali najčešći i najuobičajeniji simptomi fitotoksičnosti su hlorotične ili braon tačke po listovima (Kabata-Pendias, 2011).

Literaturni pregled opsega koncentracija elemenata u lišću biljaka, koji se odnose na normale, deficitarne, toksične i vrednosti koje se mogu tolerisati u agronomskim kulturama dat je u tabeli 1.

**Tabela 1.** Opseg koncentracija elemenata u zrelom lišću različitih biljnih vrsta i u agronomskim kulturama izražen u  $\mu\text{g/g}$

Element	Deficit	Dovoljno ili normalno	Prekomerno ili toksično	Toleriše se u agronomskim kulturama
As	-	1-1,7 <sup>a</sup>	5-20 <sup>a</sup>	0,2 <sup>a,*</sup>
Cd	-	0,05-0,2 <sup>a</sup>	5-30 <sup>a</sup>	0,05-0,5 <sup>a</sup>
Co	-	0,02-1 <sup>a</sup>	15-50 <sup>a</sup>	5 <sup>a</sup>
Cr	-	0,1-0,5	5-30	2
Cu	2-5 <sup>a,b</sup>	5-30 <sup>a,b</sup>	20-100 <sup>a,b</sup>	5-20 <sup>a,b</sup>
	-	5-25 <sup>c</sup>	-	-
Fe	<50 <sup>b</sup>	100-500 <sup>b</sup>	>500 <sup>b</sup>	-
Mn	10-30 <sup>a</sup>	30-300 <sup>a</sup>	400-1000 <sup>a</sup>	300 <sup>a</sup>
	15-25 <sup>b</sup>	20-300 <sup>b</sup>	300-500 <sup>b</sup>	-
Mo	0,1-0,3 <sup>a</sup>	0,2-5 <sup>a</sup>	10-50 <sup>a</sup>	-
	0,03-0,15 <sup>b</sup>	0,1-2,0 <sup>b</sup>	>100 <sup>b</sup>	-
Ni	-	0,1-5 <sup>a</sup>	10-100 <sup>a</sup>	1-10 <sup>a</sup>
Pb	-	5-10 <sup>a</sup>	30-300 <sup>a</sup>	0,5-10 <sup>a</sup>
	-	1-10 <sup>c</sup>	-	-
Zn	10-20 <sup>a</sup>	27-150 <sup>a</sup>	100-400 <sup>a</sup>	50-100 <sup>a</sup>
	-	10-200 <sup>c</sup>	-	-

<sup>a</sup> Kabata-Pendias (2011); <sup>b</sup> Kalra (1998); <sup>c</sup> Ghaderian i Ravandi (2012).

\* FW - sveža masa biljnog materijala (engl. *Fresh Weight*).

„-“ nije definisano u literaturi.

Dozvoljene vrednosti koncentracija As i drugih elemenata u lekovitom bilju i njihovim proizvodima u različitim zemljama sveta prikazane su u tabeli 2.

**Tabela 2.** Dozvoljene koncentracije elemenata u lekovitom bilju i njihovim proizvodima u različitim zemljama (WHO, 2007)

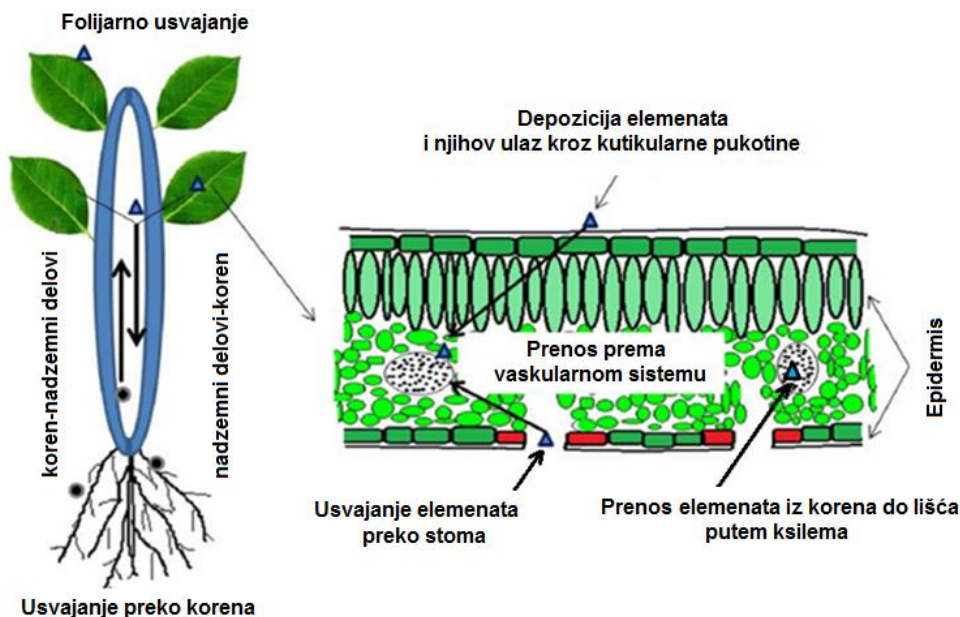
		As	Pb	Cd	Cr	Cu	Ukupni toksični elementi
<i>Lekovito bilje</i>							
<b>Kanada</b>	Sirovo lekovito bilje (µg/g)	5	10	0,3	2	-	-
<b>Kina</b>	Lekovito bilje (µg/g)	2	10	1	-	-	20
<b>Malezija</b>	Proizvod (µg/g)	5	10	-	-	-	-
<b>Koreja</b>	Lekovito bilje (µg/g)	-	-	-	-	-	30
<b>Singapur</b>	Proizvod (µg/g)	5	20	-	-	150	-
<b>Tajland</b>	Lekovito bilje/proizvod (µg/g)	4	10	0,3	-	-	-
<b>WHO preporuke (µg/g)</b>		-	10	0,3	-	-	-
<i>Ostali proizvodi od lekovitog bilja</i>							
<b>Predlog nacionalnog sanitarnog fonda (sveži suplementi) (µg/g)</b>		5	10	0,3	2	-	-

„-“ nije definisano u literaturi.

## 2.2. Usvajanje elemenata od strane biljaka iz vazduha

Lišće biljaka je primarni receptor zagađujućih supstanci iz vazduha u vidu gasova i čvrstih čestica (Rai, 2016). Zadržavanjem atmosferskog zagađenja, krošnje drvenastih biljaka imaju posebnu ulogu u smanjenju količine zagađujućih supstanci koje su potencijalno štetne za životnu sredinu i ljudsko zdravlje (Tomašević i sar., 2011; Petrova i sar., 2014; Shahid i sar., 2017).

Usvajanje elemenata u lišću biljaka ostvaruje se na različite načine (slika 2). Elementi mogu biti usvojeni direktno iz vazduha, atmosferskih depozicija i precipitacija. Usvajanje elemenata preko lišća biljaka, uobičajeno se odvija preko stoma, kutikularnih pukotina, lenticela, ektodezmi (slika 2), ali i preko drugih delova, kao što je kora (Lehndorff i Schwark, 2010; Rucandio i sar., 2011). Elementi usvojeni putem korena iz zemljišta, mogu se preneti do lišća putem provodnog tkiva ksilema (slika 2) (Lehndorff i Schwark, 2010; Rucandio i sar., 2011; Shahid i sar., 2017).



**Slika 2.** Usvajanje elemenata u lišću biljaka (Shahid i sar., 2017)

Količina i usvajanje deponovanih elemenata folijarnim putem u velikoj mjeri zavisi od brojnih faktora, kao što su: biljna vrsta (više ili niže, listopadne ili zimzelene), vreme izlaganja zagađenju, uslovi okoline, razmena gasova, hemijski oblici apsorbiranih elemenata, fizičko-hemijske i morfološke karakteristike lišća i drugo. Depozicija i apsorpcija metala i drugih elemenata na lišću biljaka značajno variraju zavisno od njihovih koncentracija u atmosferskim česticama (Shahid i sar., 2017), precipitacije, ali i od stepena vazdušnih turbulencija iznad površine tla (Cape, 2009). Proces oksidacije i vremenski uslovi povećavaju rastvorljivost mnogih elemenata, a samim tim i njihovu biodostupnost biljkama (Reglero i sar., 2008; Vural, 2015a).

Lišće različitih oblika i veličina ima različitu mogućnost zadržavanja zagađujućih supstanci. Lišće prekriveno dlačicama ima veću efikasnost zadržavanja organskog i neorganskog zagađenja od lišća glatkih površina. Pored toga, hrapavost i integritet kutikule utiču na adheziju supstanci na površini lišća (Petrova i sar., 2014). Manje čestice mogu ući u unutrašnjost lišća, dok veći aglomerati ostaju zarobljeni na vosku koji se nalazi na površini epidermisa lišća (Schreck i sar., 2012). Usvajanje elemenata iz atmosferskih precipitacija kod nižih biljaka, kod kojih je slabo razvijen ili ne postoji sloj voštanih kutikula, relativno je brzo, jer ćelijski zid deluje kao membrana za razmenu katjona. Voštane kutikule, predstavljaju značajnu barijeru za proces razmene katjona na lišću viših biljaka (Cape, 2009). Suvo taloženje krupnijih čestica se

smatra manje važnim za usvajanje elemenata, u poređenju sa mokrim taloženjem veoma finih čestica (De Temmerman i sar., 2015). De Temmerman i saradnici (2015) su potvrdili da se samo deo čestica uklanja ispiranjem sa površine lišća, dok mikronske i sub-mikronske čestice ostaju u lišću.

U industrijskim i urbanim sredinama atmosferska depozicija ima direktan uticaj na koncentracije elemenata u nadzemnim delovima biljaka. Analizom biljaka iz zagađenih oblasti mogu se dobiti informacije o usvajanju elemenata iz vazduha u njihovim različitim delovima, ali i o stanju okoline (De Temmerman i sar., 2015). Sredstva za zaštitu bilja i veštačka đubriva, koja u biljke dospevaju takođe preko lišća, dodatno mogu doprineti povećanju količine toksičnih elemenata u njima (Başgel i Erdemoğlu, 2006; Desideri i sar., 2010).

Korišćenje biljnih vrsta kao indikatora kontaminacije životne sredine, najčešće se odnosi na njihovu sposobnost da usvoje metale, druge elemente ili jedinjenja. Tokom poslednje dve decenije, sve veći broj naučnika bavi se istraživanjem usvajanja elemenata u lišću drveća, uzorkovanim u blizini industrijskih postrojenja i u urbanim sredinama (Çelik i sar., 2005; Mingorance i sar., 2007; Lehndorff i Schwark, 2010; Favas i sar., 2013; Petrova i sar., 2014; Kalinovic i sar., 2016; Marin i sar., 2016), jer se na lišću odražava bilo koji negativni uticaj iz okoline (Vural, 2015a).

Uzorkovanje i priprema uzoraka mora se obavljati u skladu sa ciljem istraživanja. Biljke, odnosno njihovi delovi, koji se koriste za određivanje zagađenja u vidu atmosferske depozicije, moraju se analizirati u neopranom stanju (Markert i sar., 1999; Rucandio i sar., 2011), ali ukoliko se određuje potencijalna fitotoksičnost ili dostupnost elemenata biljkama, onda je potrebno ukloniti atmosfersku depoziciju sa površine ispitivanog biomonitora pre same analize (Markert i sar., 1999).

### 2.2.1. Biomonitoring

Biomonitoring (biološki monitoring) je naučna tehnika koja se koristi za procenu stanja okruženja, uključujući i izloženost ljudi prirodnim i sintetičkim hemikalijama, koja se bazira na uzorkovanju i analizi određenih organizama, tkiva, biomaterijala i fluida (Wolterbeek, 2002; Rucandio i sar., 2011; Calabrese i sar., 2015).

Biomonitoring u okviru programa kontrole kvaliteta životne sredine, podrazumeva sistematsku upotrebu živih bića za dobijanje kvantitativnih informacija o promenama u okruženju, najčešće nastalih zbog antropogenih aktivnosti. Biološki odgovori mogu se smatrati reprezentativnijim od podataka dobijenih hemijskim ili fizičkim detektorima, a još važnije, rezultati biomonitoringa omogućavaju i procenu uticaja na biološke receptore. Niže i više biljke mogu da se koriste kao bioindikatori, biomonitori ili bioakumulatori (Calzoni i sar., 2007).

Bioindikator je organizam (ili deo organizma ili zajednice organizama) koji daje informacije o kvalitetu životne sredine. Biomonitor predstavlja organizam (ili deo organizma ili zajednice organizama) koji daje informacije o kvantitativnom aspektu kvaliteta životne sredine. Biomonitor može biti dobar i kao bioindikator, dok bioindikator ne mora nužno da ispunjava uslove biomonitora. Naime, i bioindikator i biomonitor reaguju na promene u svom okruženju izazvane zagađujućim supstancama, koje su merljive i uočljive (Markert i sar., 1999; Smoš i Parr, 1999; Markert i sar., 2003; Lodenius, 2013).

Pasivni bioindikatori su organizmi koji prirodno postoje u oblastima koje se ispituju, pri čemu se prate njihove reakcije, dok se aktivnim bioindikatorima smatraju organizmi koji se donose u ispitivanu oblast ili se izlažu u laboratorijskim uslovima tokom određenog definisanog vremenskog perioda zagađujućim supstancama (Markert i sar., 1999; Smoš i Parr, 1999).

Bioindikatori se podjednako koriste za monitoring kvaliteta vazduha u urbanim i ruralnim sredinama (Boamponsem i sar., 2010). Od adekvatnog indikatora se zahteva da akumulira visok nivo zagađujućih supstanci bez odumiranja, da postoji na ispitivanoj lokaciji u dovoljnom broju u slučaju ponovnog uzorkovanja i poređenja, da ima dovoljno dug život zbog poređenja između različitih uzrasta, da se lako uzorkuje i lako gaji u laboratorijskim uslovima (Rucandio i sar., 2011). U odnosu na konvencionalne metode monitoringa, bioindikatori imaju nekoliko prednosti, kao što su: niska cena, nezavisnost od električne energije, lak proces uzorkovanja i rukovanja uzorcima (Boamponsem i sar., 2010).

Monitoring nivoa elemenata u atmosferi može da se obavlja pomoću različitih vrsta bioloških monitora i vegetacije (Çelik i sar., 2005). Za praćenje koncentracija elemenata u vazduhu koriste se: mahovina, lišajevi, paprati, trave, četinari i listopadno

drveće (iglice, lišće, izdanci, kora, godovi), pečurke, alge, poljoprivredne kulture, ukrasne biljke, itd. (Smoldš i Parr, 1999; Rucandio i sar., 2011; Petkovšek i Pokorny, 2013; Petrova i sar., 2014; Calabrese i sar., 2015). U velikoj meri je rasprostranjena upotreba viših biljaka za potrebe monitoringa vazduha, zbog bolje dostupnosti biološkog materijala, jednostavne identifikacije vrsta, veće tolerancije na promene u okruženju i drugo (Rucandio i sar., 2011).

Usvajanje toksičnih elemenata u biljkama povećava rizik od njihovog prenosa do životinja i dalje kroz lanac ishrane do ljudi (Reglero i sar., 2008; Vural, 2015a; Zeiner i sar., 2015). Određeni broj biljaka se smatra pogodnim za biomonitoring, ali značaj korišćenja biljaka koje se upotrebljavaju u ljudskoj ishrani, u svrhe biomonitoringa je veliki (De Temmerman i sar., 2015). Ljudskom organizmu su potrebni metali i nemetali u određenoj meri za razvoj i očuvanje zdravlja. Iako se ne koriste često u biomonitoringu, kontrola elemenata u lekovitom bilju i njihovim proizvodima se sprovodi, kako bi se osigurala bezbednost i njihova efikasnost (Kostić i sar., 2011).

### 2.3. Usvajanje elemenata od strane biljaka iz zemljišta

Rast i razvoj biljaka zahteva kontinualno usvajanje različitih supstanci iz rizosfere putem korenovog sistema, a kasnije i njihovu distribuciju kroz celu biljku. Pored uzimanja vode, usvajanje drugih komponenti (kao što su minerali) putem korena, neophodno je za uspešan razvoj biljaka. Visoke koncentracije metala i drugih elemenata, kako zbog prirodnih faktora, tako i antropogenih aktivnosti, mogu se naći u zemljištu, a zatim dospeti i u lanac ishrane (Ovečka i Takáč, 2014).

Usvajanje elemenata od strane biljaka iz zemljišta, uslovljeno je različitim faktorima, kao što su (Peralta-Videa i sar., 2009; Desideri i sar., 2010; Zeng i sar., 2011; Olowoyo i sar., 2012; Tokaloğlu, 2012; Randjelovic i sar., 2014):

- ✓ biljna vrsta,
- ✓ struktura, geohemijske karakteristike i sastav zemljišta na kojem biljke rastu (pH vrednost zemljišta, sadržaj organskih materija, tip zemljišta, kapacitet jonske izmene, oksido-redukциони procesi, itd.),
- ✓ klimatski uslovi,



- ✓ poljoprivredne aktivnosti,
- ✓ koncentracija elemenata u zemljištu.

Pri nižim pH vrednostima substrata, elementi postaju mobilniji (Akan i sar., 2013; Vural, 2015a), i više rastvorni nego u neutralnim ili blago baznim uslovima (Ovečka i Takáč, 2014; Vural, 2015b). Biljke koje rastu na kiselom zemljištu lakše mogu da usvoje elemente u svojim delovima (koren, lišće, plod), pri čemu njihov rast u ovakvim uslovima može biti značajno smanjen (Ovečka i Takáč, 2014; Vural, 2015a). Kombinacija niske pH vrednosti zemljišta i visokih koncentracija elemenata u zemljištu rezultira visokim usvajanjem elemenata od strane biljaka (Ghaderian i Ravandi, 2012). S obzirom da je kiselost zemljišta značajna za usvajanje elemenata od strane biljaka, potrebno je izvršiti određivanje pH vrednosti u vodenom rastvoru i u rastvoru KCl, kako bi se odredila stvarna (aktivna) i potencijalna kiselost zemljišta (Ražić i sar., 2006).

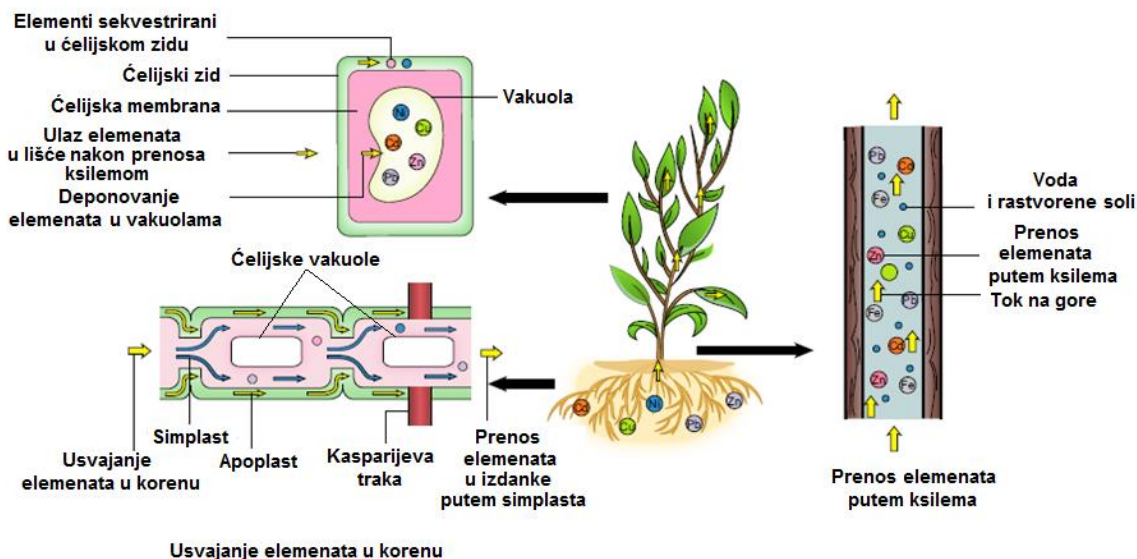
Pored pH vrednosti zemljišta, sadržaj organskih materija je jedna od najvažnijih karakteristika zemljišta koja utiče na raspoloživost metala i drugih elemenata. Organske materije doprinose sposobnosti zemljišta da zadrži elemente u izmenljivom obliku (Zeng i sar., 2011). Organske materije stvaraju komplekse sa jonima  $Al^{3+}$ , a posebno sa  $Fe^{3+}$ ,  $Cu^{2+}$ ,  $Zn^{2+}$  i  $Mn^{2+}$ , čineći ih dostupnijim biljkama, istovremeno smanjujući njihovu potencijalnu toksičnost. Katjoni se zadržavaju na humusu, pri čemu se sprečava njihovo luženje u dublje slojeve zemljišta (Eash i sar., 2016). Sa smanjenjem sadržaja organskih materija u zemljištu smanjuje se i adsorpcija elemenata na česticama zemljišta (Zeng i sar., 2011). Druga prednost prisustva organskih materija u zemljištu je regulisanje pH vrednosti (Eash i sar., 2016).

Prenos koji se odvija na relaciji zemljište-koren smatra se glavnim putem kojim elementi dospevaju u biljke. Međutim, veoma je teško razlikovati da li su elementi u delovima biljaka usvojeni putem korena iz zemljišta ili preko lišća iz atmosfere, jer se ova dva mehanizma usvajanja mogu istovremeno odvijati, naročito u neposrednoj blizini urbanih i industrijskih područja (Shahid i sar., 2017).

Tri glavna procesa pomoću kojih biljke akumuliraju elemente u svojim delovima su: usvajanje bioraspoloživih elemenata iz zemljišta kroz koren, translokacija iz korena do nadzemnih delova odnosno izdanaka, kao i sekvestracija elemenata u lišću. Prenos elemenata od korena do izdanaka odvija se putem apoplasta i simplasta, dok se od izdanaka do lišća odvija putem ksilema. U lišću se elementi u najvećoj meri zadržavaju



u vakuolama. Tokom ovih procesa, transportni proteini omogućavaju usvajanje i skladištenje elemenata u biljci (Ghori i sar., 2016). Na slici 3, prikazani su mehanizmi usvajanja i zadržavanja elemenata u biljci.



**Slika 3.** Usvajanje elemenata iz zemljišta putem korena i njihov prenos kroz biljku (Ghori i sar., 2016)

Biljke usvajaju elemente iz zemljišta pasivno protokom vode kroz koren ili aktivnim transportom kroz ćelijsku membranu epidermalnih ćelija korena. Pod normalnim uslovima rasta, biljke mogu potencijalno da akumuliraju određene jone metala za red veličine više nego u okolnom medijumu (Nouri i sar., 2011; Ghaderian i Ravandi, 2012). Zato se kod viših biljaka koje se koriste kao biomonitori, kao što su npr. bor (*Pinus sylvestris*) i smreka (*Picea abies*), uzima i uticaj zemljišta u obzir. Elementi iz zemljišta su dostupni korenovom sistemu i mogu se akumulirati u svim delovima biljaka (Markert i sar., 1999).

U većini slučajeva, postoje jake korelacije između koncentracija elemenata u biljkama i koncentracija elemenata u zemljištu na kojem biljke rastu (Vural, 2015a). Na primer, prema Vural (2015a), sadržaj Pb u biljkama koje rastu na područjima sa većim koncentracijama metala, u jakoj je korelaciji sa sadržajem Pb u zemljištu. Međutim, ovaj odnos se razlikuje u zavisnosti od dela biljke koji se analizira. De Temmerman i saradnici (2015) navode da je atmosfersko taloženje najvažniji izvor kontaminacije

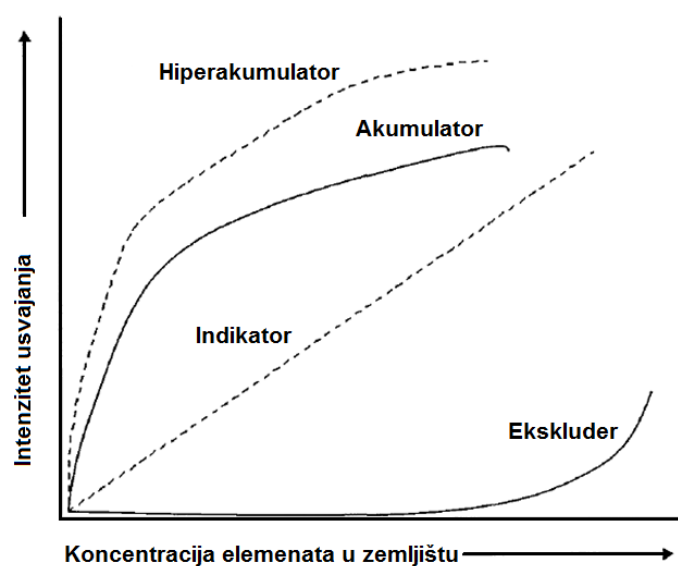
nadzemnih delova biljaka olovom, dok Pb poreklom iz zemljišta ima vrlo mali uticaj. Međutim, usvajanje Cd iz zemljišta preko korena biljaka je značajno, čak i pri veoma niskim koncentracijama, dok je usvajanje As iz zemljišta na srednjem nivou (De Temmerman i sar., 2015). Biodostupnost elemenata biljkama zavisi od njihove ukupne koncentracije u zemljištu i njihovih hemijskih oblika u kojima su prisutni (Ghaderian i Ravandi, 2012). Neki elementi, poput As, Cu i naročito Cr, iako se mogu naći u veoma visokim koncentracijama u zemljištu usled njihovog porekla u zonama rudnika ili zagađenih područja, imaju nisku pokretljivost u zemljištu (Vural, 2015b), pa je zato podjednako važno određivanje koncentracija elemenata i u zemljištu na kojem rastu ispitivane biljne vrste.

### 2.3.1. Podela biljaka prema načinu usvajanja elemenata

Prilikom procene koncentracija elemenata u biljkama sa zagađenih područja, treba uzeti u obzir sadržaj elemenata u biljnim vrstama koje rastu u nezagađenim područjima (Markert i sar., 1999). Biljne vrste se značajno razlikuju po pitanju usvajanja metala i drugih elemenata. Biljke koje rastu na zemljištima kontaminiranim različitim elementima, ne mogu sprečiti njihovo usvajanje, ali ga mogu ograničiti i akumulirati ih u svojim delovima u različitoj količini (Baker, 1981). Biljke su razvile mehanizme koje koriste kako bi se izborile sa visokim koncentracijama elemenata, a to su ekskluzija i akumulacija. Na osnovu toga, predložena je podela biljaka na akumulatore, indikatore i ekskludere. Baker (1981) je među prvim naučnicima dao definicije ovih pojmova, koje su nastavili da koriste i drugi autori (Markert i sar., 1999; Peralta-Videa i sar., 2009; Ghaderian i Ravandi, 2012). Na slici 4, data je podela biljaka na osnovu usvajanja različitih koncentracija elemenata iz zemljišta.

Biljke indikatori, ukazuju na stanje biorasploživih koncentracija elemenata u zemljištu. One usvajaju i transportuju elemente do nadzemnih delova, tako da koncentracije elemenata u biljci prikazuju stanje u zemljištu (Baker, 1981; Peralta-Videa i sar., 2009; Lodenius, 2013). Kod biljaka ekskludera, koncentracije elemenata u nadzemnim delovima su konstantne i niske u odnosu na koncentracije u zemljištu (Baker, 1981; Peralta-Videa i sar., 2009; Markert i sar., 1999). Biljke ekskluderi ograničavaju transport elemenata do njihovih nadzemnih delova i održavaju relativno

nisku koncentraciju elemenata u njima, bez obzira na visoke koncentracije u zemljištu (Peralta-Videa i sar., 2009; Ghaderian i Ravandi, 2012). Kod ekskludera, u suštini, nije regulisano usvajanje, ali sprečavanje transporta elemenata iz korena u nadzemne delove se smatra mehanizmom kontrole (Baker, 1981). Neke od ovih biljaka stvaraju stabilne komplekse metala u ćelijama korena, u cilju sprečavanja translokacije iz korena u nadzemne delove biljaka (Ashraf i sar., 2011). Biljke ekskluderi imaju potencijal za fitostabilizaciju i revegetaciju kontaminiranog zemljišta (Ghaderian i Ravandi, 2012).



**Slika 4.** Podela biljaka na osnovu usvajanja različitih koncentracija elemenata iz zemljišta (Farraji, 2014)

Biljke akumulatori pokazuju tendenciju ili sposobnost da translociraju ili akumuliraju visok nivo elemenata u nadzemnim delovima, u poređenju sa biljkama indikatorima i ekskluderima (Baker, 1981; Markert i sar., 1999; Peralta-Videa i sar., 2009; Ghaderian i Ravandi, 2012). Dakle, u biljkama akumulatorima koncentracije elemenata su uvek veće u nadzemnim delovima nego u korenu (Yanqun i sar., 2004). Funkcionisanje ovakvog mehanizma se može analizirati upoređivanjem nivoa elemenata u korenu i nadzemnim delovima biljaka koje rastu na kontaminiranim zemljištima. Kada je odnos koncentracija u lišću ili nadzemnom delu biljke i korenu veći od 1, to je karakteristika akumulatora, a kada je taj odnos manji od 1, reč je o ekskluderima (Baker, 1981). Posebnu podgrupu akumulatora predstavljaju biljke hiperakumulatori.

Ove biljke usvajaju značajno veće količine elemenata, a naročito metala od drugih biljaka (Boyd, 2007; Ghaderian i Ravandi, 2012). Hiperakumulatori mogu da akumuliraju  $>100 \mu\text{g/g}$  Cd,  $>500 \mu\text{g/g}$  Cr,  $1000 \mu\text{g/g}$  Cu, Co, Ni, Se, As i Pb, ili  $>10000 \mu\text{g/g}$  Mn i Zn u suvoj masi nadzemnih delova (npr. lišću) (Yanqun i sar., 2004; Peer i sar., 2005; Peralta-Videa i sar., 2009; Ashraf i sar., 2011; Soleimani i sar., 2011; Ghaderian i Ravandi, 2012; Elekes, 2014). Još neki od kriterijuma kojima se definišu biljke hiperakumulatori su: 1) koncentracije elemenata u nadzemnim delovima biljke su uvek veće nego u korenu, što ukazuje na posebnu sposobnost ovih biljaka da apsorbuju, transportuju i skladište elemente u njihovim nadzemnim delovima; 2) koncentracije elemenata u nadzemnim delovima moraju biti 100-500 puta veće nego u istoj biljnoj vrsti iz nezagađene oblasti; 3) koncentracije elemenata u izdancima/nadzemnim delovima veće su nego u zemljištu, čime se naglašava stepen usvajanja elemenata od strane biljke (Lorestani i sar., 2011).

Biljke koje rastu na zemljištu sa elementima u fitotoksičnim koncentracijama za većinu drugih biljnih vrsta, smatraju se tolerantnim. Iako su biljke indikatori i hiperakumulatori takođe tolerantne vrste, postoje određene razlike u mehanizmima usvajanja. Zato tolerantne vrste nisu nužno indikatori ili hiperakumulatori (Peer i sar., 2005). Hiperakumulatori predstavljaju potencijal za sanaciju zemljišta koja su zagađena metalima i drugim elementima metodom fitoremedijacije (Reglero i sar., 2008; Ashraf i sar., 2011; Ghaderian i Ravandi, 2012; Vural, 2015a). Element koji je najčešće hiperakumuliran od strane biljaka je Ni (Boyd, 2007).

### 2.3.2. Fitoremedijacija

Uklanjanje viška jona metala i drugih toksičnih elemenata iz zagađenih oblasti može se obavljati hemijskim ili biološkim putem (Shah i Nongkynrih, 2007). Tehnologije koje se mogu koristiti za poboljšanje kvaliteta zagađenog zemljišta su uglavnom skupe, a tu spadaju iskopavanje kontaminiranog materijala ili fizičko-hemijski tretmani koji nisu dugoročni i estetski prihvatljivi (Nouri i sar., 2011). U hemijskoj remedijaciji se koriste hemikalije za uklanjanje zagađujućih supstanci iz zemljišta (Shah i Nongkynrih, 2007). Biljke i mikroorganizmi iz zemljišta mogu se koristiti kao biološki alati za procenu nivoa kontaminacije i remedijaciju kontaminiranih

površina putem bioremedijacionih tehnologija (Shah i Nongkynrih, 2007; Mendoza i sar., 2015).

Fitoremedijacija je grana bioremedijacije i predstavlja korišćenje biljaka za uklanjanje, uništavanje ili izolovanje opasnih supstanci iz zemljišta u cilju poboljšanja, ublažavanja i stabilizacije područja zagađenih različitim elementima. Ova metoda je bezbedna po životnu sredinu (engl. *environmentally friendly technology*) i ekonomična u odnosu na tradicionalne tehnike sanacije, pri čemu pruža dugotrajno i estetsko rešenje za sanaciju kontaminiranih zemljišta (Yanqun i sar., 2004; Peer i sar., 2005; Lorestani i sar., 2011; Nouri i sar., 2011; Sarma, 2011; Mendoza i sar., 2015).

U metode fitoremedijacije ubrajaju se:

- ✓ Fitoekstrakcija - tolerantne biljne vrste akumuliraju zagađujuće supstance iz zemljišta preko korena, zatim ih translociraju u svoje nadzemne delove (USEPA, 2000; Peer i sar., 2005; Hooda, 2007; Ghaderian i Ravandi, 2012), nakon čega se biljke beru ili žanju sa ciljem uklanjanja toksičnih elemenata (Peer i sar., 2005; Nouri i sar., 2011; Lorestani i sar., 2013). Fitoekstrakcija se prvenstveno koristi za tretman zagađenog zemljišta i sedimenata, a u manjoj meri za tretman zagađene vode (USEPA, 2000).
- ✓ Fitofiltracija (rizofiltracija) - metoda slična fitoekstrakciji koja se koristi za prečišćavanje zagađenih podzemnih voda, a ne zemljišta, upotrebom korena biljaka (Shah i Nongkynrih, 2007; Sarma, 2011).
- ✓ Rizodegradacija - proces razgradnje organskih zagađujućih supstanci u zemljištu aktivnošću mikroba uz pomoć korenovog sistema biljaka (USEPA, 2000).
- ✓ Fitodegradacija (fitotransformacija) - proces razgradnje zagađujućih supstanci usvojenih od strane biljke, metaboličkim procesima u biljci ili van nje, pomoću jedinjenja (enzima) koja one proizvode (USEPA, 2000).
- ✓ Fitostabilizacija (fitorestauracija) - proces adsorpcije ili akumulacije toksičnih elemenata u korenu biljke, adsorpcije na korenu ili precipitacije u rizosferi, pri čemu se smanjuje mobilnost i ulazak elemenata u lanac ishrane (USEPA, 2000; Shah i Nongkynrih, 2007; Ashraf i sar., 2011; Nouri i sar., 2011).
- ✓ Fitovolatilizacija - proces usvajanja zagađujućih supstanci od strane biljaka koje ih pretvaraju u isparljiva jedinjenja, koja se zatim oslobađaju preko folijarnih delova (Hooda, 2007; Sarma, 2011; Soleimani i sar., 2011; Elekes, 2014).

Rastvorljive supstance se usvajaju preko korenovog sistema, translociraju u listove, a zatim isparavaju preko stoma u atmosferu (Peer i sar., 2005).

- ✓ Fitorudarstvo - proces uklanjanja biljaka hiperakumulatora u kojima se akumuliraju velike količine elemenata (Shah i Nongkynrih, 2007).

Cilj fitoremedijacionih tehnologija je da se zagađeno zemljište sanira i dovede na nivo pre kontaminacije ili u okviru zakonski prihvatljivih koncentracija zagađujućih supstanci (Peer i sar., 2005). U tabeli 3, date su zakonom definisane granične vrednosti (GV) i remedijacione vrednosti (RV) koncentracija elemenata u zemljištu (Uredba br. 88/2010; EEC/86/278) iznad kojih se uočava da su osnovne funkcije zemljišta ugrožene ili narušene.

Kao sve popularnija metoda uklanjanja zagađujućih supstanci iz okoline, fitoremedijacija ima svojih prednosti i mana. Biljke omogućavaju *in situ* uklanjanje zagađujućih supstanci iz zemljišta. Sadnja vegetacije na kontaminiranim lokacijama smanjuje eroziju zemljišta vetrom i vodom. Međutim, fitoremedijacione tehnologije predstavljaju spore procese u poređenju sa mehaničkim i fizičko-hemijskim metodama prečišćavanja. Potrebno je više vremena za prečišćavanje kontaminiranih lokacija zbog sporog rasta biljaka, koji zavisi od klimatskih uslova, ali i samih biljnih vrsta (Shah i Nongkynrih, 2007).

**Tabela 3.** Granične i remedijacione vrednosti koncentracije elemenata u zemljištu prema zakonima Republike Srbije i Evropske Unije

Element	Granična vrednost <sup>a</sup> (µg/g s. m.)	Remedijaciona vrednost <sup>a</sup> (µg/g s. m.)	Granična vrednost EU <sup>b</sup> (µg/g s. m.)
As	29	55	-
Cd	0,80	12	1-3
Co	9	240	-
Cr	100	380	-
Cu	36	190	50-140
Fe	-	-	-
Mo	3	200	-
Ni	35	210	30-75
Pb	85	530	50-300
Zn	140	720	150-300

<sup>a</sup> Uredba br. 88/2010

<sup>b</sup> EEC/86/278

s. m. - suva masa.

„-“ nije dato u literaturi.

### 3. LITERATURNI PREGLED DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA

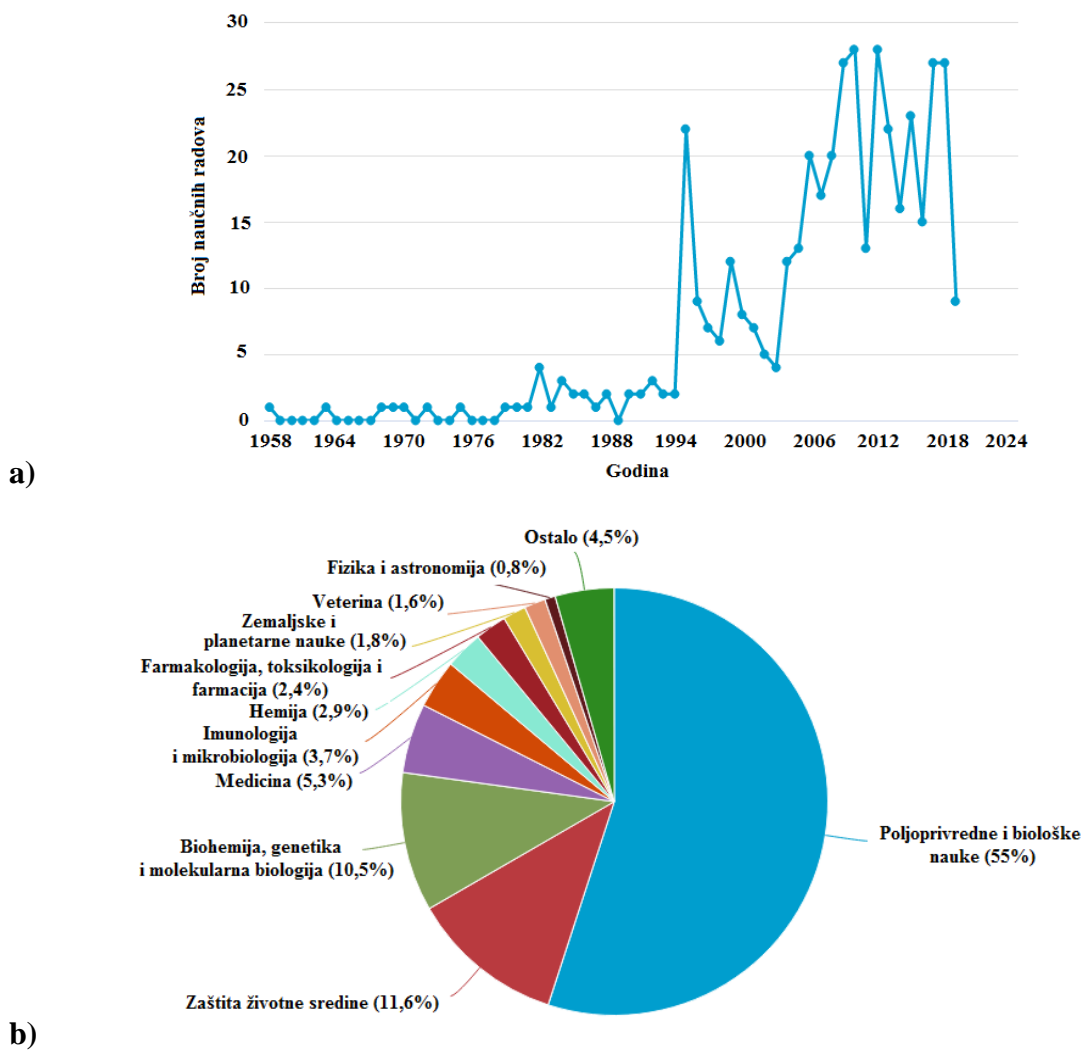
Analiza zemljišta i biljaka predstavlja korisno sredstvo za procenu kvaliteta životne sredine na određenom geografskom području (Calzoni i sar., 2007). Biljne vrste iz porodice Rosaceae (šipurak, glog, trnjina), se već dugo koriste za ljudsku ishranu i u medicinske svrhe, pa je određivanje koncentracija elemenata koji se nalaze u njima od velike važnosti. Međutim, pregledom dostupne literature uočava se da je mali broj objavljenih radova iz oblasti zaštite životne sredine, dok je najveći broj istraživanja koja su vezana za ove biljne vrste iz oblasti poljoprivrede i bioloških nauka.

#### 3.1. Šipurak (*Rosa* spp.)

Šipurak (divlja ruža) pripada porodici Rosaceae, rodu *Rosa* (Angelov i sar., 2014). Rod *Rosa* sadrži više od 200 vrsta koje su široko rasprostranjene u umerenim i subtropskim oblastima severne hemisfere (Ercisli, 2005; Ercisli, 2007; Nađpal i sar., 2016). Šipurak (najpoznatija vrsta *Rosa canina* L.) je višegodišnja žbunasta biljka visine 2-3 m (Demir i Özcan, 2001; Ercisli, 2007; Angelov i sar., 2014). Cvetovi su beli do blede roze, plodovi sazrevaju kasno u jesen (Ercisli, 2005). Plodovi šipurka se koriste u ishrani (džem, marmelada, sok), za pripremu čaja i u medicinske svrhe (Demir i Özcan, 2001; Szentmihályi i sar., 2002; Ercisli, 2005; Vural, 2015a; Nađpal i sar., 2016; Dolek i sar., 2018). Plodovi šipurka sadrže nizak nivo masti i visok nivo vitamina (A, B1, B2, B3, C, D i E), minerala (Mg, Fe, Mn, Al, K, P) i vlakana (Demir i Özcan, 2001; Szentmihályi i sar., 2002; Ercisli, 2005; Angelov i sar., 2014; Nađpal i sar., 2016). U odnosu na druge biljke, plodovi šipurka su bogatiji vitaminom C, što ih čini pogodnim u prevenciji bolesti, kao i za jačanje organizma u slučaju infekcija ili prehlada (Demir i Özcan, 2001; Szentmihályi i sar., 2002; Ercisli, 2005; Vural, 2015a). Šipurak pogodno deluje na digestivni sistem, koristi se kao suplement u lečenju jetre i bubrega, kao diuretik, ili samo kao napitak bogat vitaminima i mineralima (Demir i Özcan, 2001; Ercisli, 2007; Stefanut i sar., 2007). Ova biljka je otporna u ekstremnim uslovima životne sredine kao što su kamenita i strma podloga, zemljište lošijeg kvaliteta, sušni periodi i drugo (Demir i Özcan, 2001; Ercisli, 2007).



U periodu od 1958. godine do 21.3.2019., po ključnoj reči pretraživanja „*Rosa* spp.“ na naučnoj bazi Scopus (slika 5a), od ukupno 433 objavljena naučna rada, svega 11,6% je iz oblasti zaštite životne sredine (slika 5b).



**Slika 5. a)** Objavljeni naučni radovi po ključnoj reči pretraživanja „*Rosa* spp.” u periodu od 1958-2019.; **b)** Raspodela objavljenih radova po oblastima istraživanja za isti period ([www.scopus.com](http://www.scopus.com))

Iako se šipurak u najvećoj meri koristi za pripremu čajeva, na osnovu istraživanja u kojima je ispitivana koncentracija elemenata u delovima šipurka koji je uzorkovan na kontaminiranim područjima, može se razmišljati o mogućnostima primene ove biljke u biomonitoringu i fitoremedijaciji. Literaturne vrednosti koncentracije elemenata ( $\mu\text{g/g}$  suve mase), u lišću i plodovima šipurka uzorkovanog u



oblastima sa različitim stepenom i izvorima zagađenja, prikazane su u tabelama 4 i 5, na kraju poglavlja 3.1.

Reglero i saradnici (2008) su ispitivali stepen kontaminacije više vrsta biljaka, među kojima je bio i šipurak (tabela 4), kao i zemljišta u okolini rudnika olova u Španiji. Kako se biljkama sa tog područja hrane životinje, pretpostavljeno je da lišće nije prano pre analize. Detaljnom analizom, autori su došli do zaključka da su koncentracije ispitivanih elemenata u lišću šipurka (tabela 4), ali i zemljištu, bile veće u rudarskim oblastima nego u kontrolnoj oblasti. Uočene su značajne korelacije između koncentracija As i Pb u biljkama, što ukazuje na njihovo prisustvo u atmosferskoj depoziciji, dok su koncentracije Zn i Cu prevazilazile vrednosti koje se smatraju bezbednim za ishranu stoke. U zemljištu su zabeležene značajne korelacije između parova elemenata Zn-Cd, Zn-Cu, Se-Cu, Se-As, As-Cu i As-Cd ( $p \leq 0,05$ ). Reglero i saradnici (2008) su pokazali da je potrebna remedijacija zemljišta, pri čemu se mora voditi računa o izboru biljaka zbog njihovih akumulacionih sposobnosti, jer se njima hrane životinje (Reglero i sar., 2008).

Vural (2015a) je imao za cilj određivanje koncentracija elementa u lišću šipurka (*Rosa canina*) uzorkovanog u oblasti nekadašnjeg rudnika (tabela 4). Koncentracije As, Ba, Cd, Li, Mn, Mo, Na, Ni, P, S, Sb, Se i Ti u lišću šipurka su bile u okviru ili blizu normalnih vrednosti koje Vural (2015a) navodi u svom radu, sadržaj Cu, Pb, Zn, Co, Cr, B, Sc i Hg zahtevao je dodatna istraživanja, dok su koncentracije Fe i Al bile iznad normalnih vrednosti. Iako se u istraživanjima ovakvog tipa često uočavaju korelacije između elemenata u zemljištu i biljkama, u ovom radu nije bilo značajnih korelacija između elemenata u zemljištu i lišću šipurka. Izračunavanjem bioakumulacionog faktora (BAC) koji predstavlja odnos elemenata u lišću šipurka i zemljištu, Vural (2015a) je došao do zaključka da šipurak najlakše usvaja Ca, K i Sr ( $BAC \gg 1$ ), zatim Mg, Mn, Na, Ni i Zn ( $BAC = 0,1-1$ ), a najslabiji kapacitet usvajanja iz okolnog zemljišta ima za Al, Fe, Pb, Cd, As, Cu, Co i Cr ( $BAC < 0,01$ ) (Vural, 2015a).

Figurska-Ciura i saradnici (2010), imali su za cilj da procene kontaminaciju plodova različitih biljaka kadmijumom (tabela 5). Uzokovanje je obavljeno u oblasti pod uticajem rudarskih aktivnosti u Poljskoj. Koncentracije Cd u plodovima šipurka, ali i ostalih ispitivanih biljaka, bile su niske (Figurska-Ciura i sar., 2010).

Autori [Stefanut i saradnici \(2007\)](#) prikazali su koncentracije elemenata u plodovima šipurka i drugih biljaka, koji su uzorkovani u zagađenoj i nezagađenoj oblasti u Rumuniji (tabela 5). Iako je očekivano da koncentracije elemenata u plodovima šipurka iz okoline nekadašnjeg rudnika zlata (okolina Baia Mare) budu više, to se nije pokazalo tačnim. Jedino je koncentracija Fe u plodovima iz ove oblasti bila značajno viša. [Stefanut i saradnici \(2007\)](#) pretpostavljaju da su niske koncentracije elemenata u uzorcima rezultat zatvaranja rudnika pre više godina, pri čemu je i negativan uticaj na okolinu značajno smanjen.

[Damascos i saradnici \(2008\)](#) su analizirali koncentracije elemenata u različitim samoniklim biljkama koje se koriste za pripremu džemova, čajeva i drugih jestivih proizvoda. Uzorkovani su plodovi dve vrste šipurka (*R. canina* L. i *Rosa rubiginosa* L.) u različitim klimatskim oblastima u Argentini (šumska i stepska). Uočeno je da su koncentracije Cr i Fe bile slične među biljnim vrstama, dok su koncentracije Co bile veće u *R. rubiginosa* L. a Zn u *R. canina* L. nezavisno od oblasti uzorkovanja. Koncentracije Mo su bile nešto više u plodovima obe vrste šipurka iz šumske oblasti. [Damascos i saradnici \(2008\)](#) pokazali su da na koncentracije elemenata imaju uticaj i biljna vrsta, ali i uslovi u kojima biljke rastu.

U svojim istraživanjima [Fowles \(1976\)](#) i [Hamurcu i saradnici \(2010\)](#) su na osnovu dobijenih koncentracija Pb u plodovima šipurka i drugih biljaka, u poređenju sa literaturnim podacima, zaključili da su najveće vrednosti bile u uzorcima iz zone saobraćaja.

[Ercisli \(2007\)](#) je ispitivao nekoliko vrsta biljaka iz roda *Rosa*. Vrsta šipurka *R. canina* L. je u odnosu na ostale ispitivane vrste sadržala veće koncentracije Cu i Mn, dok su u plodovima *Rosa pisiformis* zabeležene najveće koncentracije Fe i Zn (tabela 5). [Ercisli \(2007\)](#) je zaključio da razlike u koncentracijama elemenata variraju u zavisnosti od vrste, ali i od sredine i zemljišta u kojem rastu, kao i od geografskih uslova. Takođe, [Demir i Özcan \(2001\)](#) navode da, iako su plodovi šipurka uzorkovani u dvema nezagađenim oblastima, uočavaju se razlike u koncentracijama ispitivanih elemenata (tabela 5). [Demir i Özcan \(2001\)](#) ukazuju da to može biti uslovljeno faktorima okoline, uslovima rasta i veličine samih plodova. Ovi autori smatraju da su uzorci sa nižim koncentracijama ispitivanih elemenata pogodniji za pripremu prehrambenih proizvoda, kao što su marmelada i sok.

Veći broj autora (Başgel i Erdemoğlu, 2006; Özcan i sar., 2008; Sekeroglu i sar., 2008; Kara, 2009; Desideri i sar., 2010; Gentscheva i sar., 2010; Tokaloğlu, 2012; Malik i sar., 2013; Živkov-Baloš i sar., 2014) je ispitivao koncentracije elemenata u plodovima šipurka od kojih se priprema čaj (tabela 5). Ispitivani uzorci su uglavnom nabavljeni u lokalnim marketima, a najčešće su kupovani u obliku čaja u kesicama u suvom stanju. Sekeroglu i saradnici (2008) su analizom više vrsta biljaka za pripremu čajeva, došli do zaključka da su veće koncentracije ispitivanih elemenata zabeležene u listovima i lekovitim travama nego u plodovima od kojih se pripremaju čajevi. Gentscheva i saradnici (2010) zaključili su da koncentracije analiziranih elemenata u suvoj masi ispitivanih biljaka prate opadajući niz: Fe>Mn>Zn>Ni>Pb>Co>Cd, što se u određenoj meri poklapa sa rezultatima dobijenim u drugim istraživanjima prikazanim u tabeli 5.

Upoređujući literaturne podatke može se reći da su se koncentracije elemenata u plodovima šipurka razlikovale u zavisnosti od vrste i uslova sredine i da su čak koncentracije nekih elemenata bile veće u uzorcima plodova kupljenim u marketima, nego u plodovima šipurka uzorkovanim u oblastima sa različitim izvorima zagađenja.

**Tabela 4.** Literaturni pregled koncentracija elemenata ( $\mu\text{g/g}$  s.m.) u lišću šipurka (*Rosa* spp.)

Oblast uzorkovanja ili izvor zagađenja; biljna vrsta	Oprano dest. vodom	Element											Literatura	
		Al*	As	Cd	Cr	Cu	Co	Fe*	Mn	Mo	Ni	Pb		Zn
Rudarska oblast; <i>R. canina</i>	Nije naglašeno		n.d.	0,008		27,20						41,30	34,70	Reglero i sar. (2008)
Rudarska oblast; <i>R. canina</i>	Nije naglašeno		n.d.	n.d.		14,40 $\pm 3,45$						0,080 $\pm 0,063$	25,70 $\pm 1,17$	
Hidrotermalni proces; <i>R. canina</i>	Da	0,022 (0,01-0,03)	0,207 (0,1-0,3)	0,016 (0,01-0,03)	2,441 (1,7-5,3)	5,340 (3,79-8,17)	2,273 (0,08-5,39)	0,025 (0,015-0,056)	110 (30-270)	0,796 (0,170-2,340)	1,259 (0,5-3,5)	0,586 (0,27-5,04)	12,716 (8,6-22,5)	Vural (2015a)
Kontrolna oblast; <i>R. canina</i>	Nije naglašeno		n.d.	n.d.		7,81 $\pm 0,89$						0,110 $\pm 0,025$	23,9 $\pm 12,6$	Reglero i sar. (2008)

\* koncentracija izražena u %.

s.m. - suve mase.

n.d. - nije detektovano u uzorku (ispod granice detekcije).

Tablea 5. Literaturni pregled koncentracija elemenata ( $\mu\text{g/g}$  s.m.) u plodu šipurka (*Rosa* spp.)

Oblast uzorkovanja ili izvor zagađenja; biljna vrsta	Opran dest. vodom	Element											Literatura			
		Al	As	Cd	Cr	Cu	Co	Fe	Mn	Mo	Ni	Pb		Zn		
Cu rudarske aktivnosti; šipurak	Da			0,028 $\pm 0,017$ (0,008-0,038)												Figurska-Ciura i sar. (2010)
Rudarsko-metalurške aktivnosti; šipurak	Nije naglašeno	1,8	n.d.		0,35	1,91		142,44			2,80	0,1	8,89			Stefanut i sar. (2007)
Nezagađena oblast; šipurak	Nije naglašeno	3,85	n.d.		0,35	1,55		36,89			0,51	0,23	9,05			
Nezagađena šumska oblast; <i>R. canina</i> L.	Ne				0,11 $\pm 0,06$ ; 0,13 $\pm 0,02$		0,07 $\pm 0,04$ ; 0,07 $\pm 0,01$	14,53 $\pm 0,48$ ; 26,60 $\pm 2,67$		0,36 $\pm 0,07$ ; 0,46 $\pm 0,03$			5,24 $\pm 0,42$ ; 5,04 $\pm 0,44$			
Nezagađena šumska oblast; <i>R. rubiginosa</i> L.	Ne				0,15 $\pm 0,04$		0,03 $\pm 0,01$	21,37 $\pm 1,52$		0,36 $\pm 0,05$			7,94 $\pm 1,54$			Damascos i sar. (2008)
Nezagađena stepska oblast; <i>R. canina</i> L.	Ne				0,14 $\pm 0,04$		0,08 $\pm 0,02$	72,80 $\pm 51,22$		0,24 $\pm 0,03$			3,79 $\pm 0,47$			

Nastavak tabele 5.

Oblast uzorkovanja ili izvor zagađenja; biljna vrsta	Opran dest. vodom	Element												Literatura
		Al	As	Cd	Cr	Cu	Co	Fe	Mn	Mo	Ni	Pb	Zn	
Nezagađena stepska oblast; <i>R. rubiginosa</i> L.	Ne				0,11 ±0,01		0,03 ±0,00	21,30 ±1,76			0,27 ±0,03		5,97 ±0,19	Damascos i sar. (2008)
Nezagađene oblasti; <i>R. canina</i> L.	Ne								72,9; 59,4	22,4; 44,8			4,51; 3,69	Demir i Özcan (2001)
Urbana oblast bez uticaja industrije; <i>R. canina</i>	Ne					27		27	56				30	
<i>R. dumalis</i> subsp. <i>boissieri</i>	Ne					9		18	16				24	Ercisli (2007)
<i>R. dumalis</i> subsp. <i>antalyensis</i>	Ne					12		27	16				18	
<i>R. villosa</i>	Ne					12		27	12				18	
<i>R. pisiformis</i>	Ne					12		72	6				42	
<i>R. pulverulenta</i>	Ne					15		27	24				24	
Prometna saobraćajnica; šipurak	Ne												1,45	Fowles (1976)

Nastavak tabele 5.

Oblast uzorkovanja ili izvor zagađenja; biljna vrsta	Opran dest. vodom	Element											Literatura		
		Al	As	Cd	Cr	Cu	Co	Fe	Mn	Mo	Ni	Pb		Zn	
Saobraćajnica; <i>R. canina</i> L.	Izduvan vazduhom			0,06- 0,16	0,18- 0,32	0,05- 0,23						0,26- 0,68	1,54- 2,86	0,21- 3,81	Hamurcu i sar. (2010)
Kupljeno u marketu ili od lokalnih travara; Fr. <i>Rosa caninae</i>	Ne*	157 ±12		0,07 ±0,01	0,92 ±0,07	4,94 ±0,76	0,40 ±0,01	267,2 ±30,0	244,0 ±13,8			2,90 ±0,78	0,34 ±0,15	21,9 ±1,2	Başgel i Erdemoğlu (2006)
Kupljeno na bazaru; <i>R. canina</i> L.	Nije naglašeno*	13,70 ±11,24	0,20 ±0,18	0,00 ±0,00	1,33 ±1,14	0,71 ±0,71	0,32 ±0,32	8,85 ±8,76	13,93 ±11,71			0,67 ±0,15	0,17 ±0,10	3,96 ±0,67	Özcan i sar. (2008)
Kupljeno u marketu; <i>R. canina</i> L.	Nije naglašeno*			0,033 ±0,003		24,0 ±0,5		84,0 ±1,9	10,0 ±0,7					15,0 ±0,5	Sekeroglu i sar. (2008)
Kupljeno u marketu; <i>R. canina</i>	Nije naglašeno*				0,23	3,0	0,1	27,5	47,5			1,6		3,2	Kara (2009)
Kupljeno od lokalnih travara; <i>R. canina</i> L.	Nije naglašeno*	<100	<1	<0,5	<2	3,4	<1	29,4	32,8			0,6	0,4	5,4	Desideri i sar. (2010)

Nastavak tabele 5.

Oblast uzorkovanja ili izvor zagađenja; biljna vrsta	Opran dest. vodom	Element												Literatura
		Al	As	Cd	Cr	Cu	Co	Fe	Mn	Mo	Ni	Pb	Zn	
Kupljeno u marketu; <i>R. canina</i> L.	Nije naglašeno**			0,10 ±0,01			0,10 ±0,01	30±1	65±2		0,58 ±0,03	1,13 ±0,03	4,00 ±0,5	Gentscheva i sar. (2010)
Kupljeno u marketu; <i>R. canina</i>	Da				0,79 ±0,02	4,86 ±0,13	0,05 ±0,00	106±6	35,8 ±0,7		0,94 ±0,06	n.d.	4,66 ±0,33	Tokalioğlu (2012)
Kupljeno u marketu; <i>R. canina</i> L.	Nije naglašeno*	33,6 ±8,0				8,98 ±2,27		14,8 ±4,1	65,0 ±29,8		1,26± 0,09		3,60 ±1,04	Malik i sar. (2013)
Kupljeno u marketu; <i>R. canina</i> L.	Nije naglašeno*					6,68 ±0,06		61,87 ±1,11	77,90 ±3,59				16,11 ±0,82	Živkov-Baloš i sar. (2014)

\* Plodovi šipurka za pripremu čaja ili kesice čaja; \*\* Kesice čaja sa cvetovima šipurka.

s.m. - suve mase.

n.d. - nije detektovano u uzorku (ispod granice detekcije).



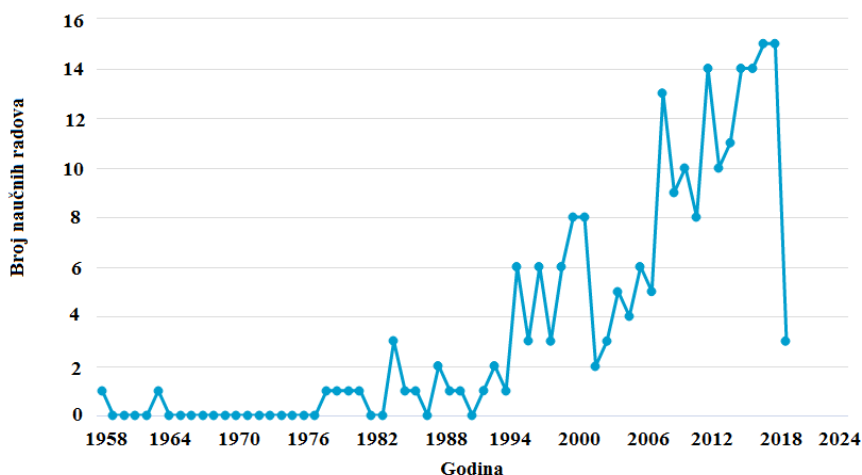
### 3.2. Glog (*Crataegus* spp.)

Glog pripada porodici Rosaceae, rodu *Crataegus*. Rasprostranjen je na severnoj hemisferi uključujući Evropu, istočne oblasti Severne Amerike, deo Južne Amerike, severnu Afriku i Aziju. Glog je listopadno trnovito nisko drvo ili žbun, sa belim cvetovima i crvenim plodovima. Cveti od aprila do juna, a listovi imaju tri, četiri ili pet režnjeva. Ukrštanje je uobičajeno među pojedinim vrstama, što otežava njihovu identifikaciju. Najpoznatije vrste gloga su *Crataegus oxyacantha* L., *Crataegus laevigata* i *Crataegus monogyna* Jacquin (Tracy, 2007; WHO, 2010).

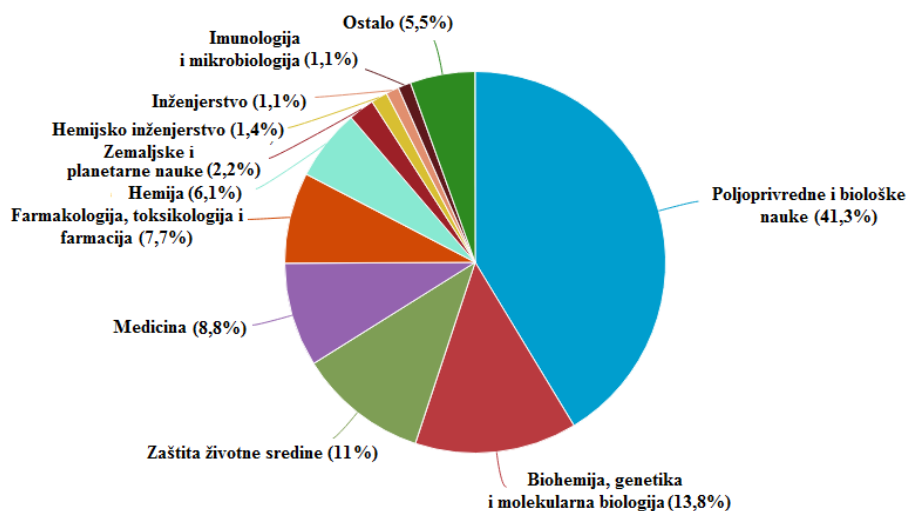
Glog se upotrebljava za regulaciju niskog i visokog krvnog pritiska, za lečenje tahikardije, aritmije, ateroskleroze, angine pectoris i blagih nervnih poremećaja. Cvetovi i plodovi se koriste za lečenje grla (Tracy, 2007; WHO, 2010; Kostić i sar., 2011; Randjelovic i sar., 2014). U ljudskoj ishrani, glog se koristi u obliku sokova, džemova i čajeva (Randjelovic i sar., 2014).

U periodu od 1958. do 21.3.2019. godine, po ključnoj reči pretraživanja „*Crataegus* spp.” na naučnoj bazi Scopus (slika 7a), objavljeno je svega 220 naučnih radova (slika 7a), a od toga je 11% iz oblasti zaštite životne sredine (slika 7b).

Iako se glog ne koristi u velikoj meri u istraživanjima iz oblasti zaštite životne sredine, tj. biomonitoringa i fitoremedijacije, literaturni pregled koncentracija elemenata ( $\mu\text{g/g}$  suve mase) u lišću i plodovima gloga iz oblasti sa različitim izvorima zagađenja, dat je u tabelama 6 i 7, na kraju poglavlja 3.2.



a)



b)

**Slika 7. a)** Objavljeni naučni radovi po ključnoj reči pretraživanja „*Crataegus spp.*” u periodu od 1958-2019.; **b)** Raspodela objavljenih radova po oblastima istraživanja za isti period ([www.scopus.com](http://www.scopus.com))

Little i Martin (1972) su određivali koncentracije elemenata u neopranom lišću gloga i bresta uzorkovanom u okolini Pb/Zn topioničkog kompleksa. Iako su koncentracije Pb, Cd i Zn bile izuzetno visoke u uzorcima obe biljne vrste, veće koncentracije ispitivanih elemenata pronađene su u lišću bresta u odnosu na lišće gloga. Brest ima relativno grubo, dok je lišće gloga glatko i sjajno. Zato je i očekivano efikasnije zadržavanje atmosferskih depozita sa velikim sadržajem toksičnih elemenata na lišću bresta (Little i Martin, 1972). Autor Little (1973) u svom radu navodi, da su u neopranom lišću gloga uzorkovanom nakon jake kiše, zabeležene visoke koncentracije Pb, Cd i Zn (tabela 6). Očigledno je da su dinamika akumulacije elemenata, folijarna retencija, apsorpcija, kao i usvajanje elemenata iz zemljišta izuzetno kompleksni procesi

koji se ne menjaju samo sezonski, već i na dnevnom nivou (Little, 1973). Upoređujući koncentracije elemenata u uzorcima opranog i neopranog lišća biljaka, pokazalo se da se sa površine lišća ispiranjem najlakše uklanja olovo, i to u količini od 30-85%, dok se samo 45% Zn i 28% Cd može ukloniti pranjem lišća. Ovakvi rezultati ukazuju na to da Pb u velikoj meri ostaje kao atmosferski depozit na površini, dok Zn i Cd delimično prodiru u unutrašnjost lišća (Little i Martin, 1972; Little, 1973). Ovakvi atmosferski depoziti se sa površina lišća uklanjaju kišnicom, vetrom, apsorpcijom od strane lišća ili naknadnom translokacijom. Zadržavanje aerodepozicije u najvećoj meri zavisi od fizičkog, ređe od hemijskog stanja zagađujućih supstanci, kao i fizičkog oblika vegetacije (Little, 1973). Little i Martin (1972) su u svom istraživanju pokazali da iako je izloženo jednakim nivoima atmosferskih depozicija Zn, Pb i Cd, lišće različitih biljaka akumulira i zadržava ove elemente u različitim količinama. Takođe, uočeno je snižavanje koncentracija elemenata sa povećanjem udaljenosti od topioničkog kompleksa, kao i povećavanje koncentracija elemenata u lišću ispitivanih biljaka u smeru dominantnih vetrova. U uzorcima lišća gloga zabeleženi su visoki korelacioni koeficijenti između koncentracija elemenata u sledećim parovima: Pb-Zn ( $r=0,9629$ ;  $p=0,001$ ), Zn-Cd ( $r=0,7523$ ;  $p=0,001$ ) i Pb-Cd ( $r=0,8268$ ;  $p=0,001$ ). Takođe, izuzetno visoke koncentracije Zn, Cd i Pb zabeležene su u zemljištu uzorkovanom u oblasti uzorkovanja gloga. Međutim, koeficijenti korelacija elemenata Pb, Cd i Zn u lišću i zemljištu gloga imali su statističku značajnost, ali nisu bili visoki (za Zn  $r=0,3007$ ,  $p=0,05$ ; za Pb  $r=0,3050$ ,  $p=0,05$ ; za Cd  $r=0,3173$ ,  $p=0,05$ ) (Little i Martin, 1972).

Reglero i saradnici (2008) ukazuju da, kao i u slučaju šipurka, i koncentracije ispitivanih elemenata u lišću gloga bile su niže u kontrolnoj oblasti nego u rudarskim područjima (tabela 6). Koncentracije elemenata u zemljištu, su takođe bile veće u rudarskim oblastima, pri čemu su najveće razlike uočene za koncentracije As i Cu (Reglero i sar., 2008).

Madejón i Lepp (2007) su ispitivali koncentracije As u različitim delovima brojnih biljnih vrsta uzorkovanim na lokacijama sa izraženim zagađenjem arsenom. Koncentracija As u lišću gloga nije bila u toksičnom opsegu (tabela 6.). Dobijena je i veoma niska vrednost translokacionog faktora za As iz zemljišta do biljaka (0,0003-0,068 za drvenaste biljke), tako da je rizik prenosa putem lanca ishrane veoma mali u

odnosu na druge vidove kontaminacije arsenom, kao što su ingestija ili inhalacija čestica koje sadrže As.

Fowles (1976) je u svom istraživanju zabeležio visoke koncentracije Pb u neopranim plodovima gloga (do 23,8  $\mu\text{g/g}$ ) koji su uzorkovani u blizini prometne saobraćajnice (tabela 7). Nakon temeljnog pranja plodova koncentracija Pb je bila 9,9  $\mu\text{g/g}$ . Smatra se da čestice Pb uglavnom ostaju na površini plodova i da je distribucija kroz biljku mala. Ova tvrdnja je u saglasnosti sa rezultatima koje su u svom istraživanju dobili Little i Martin (1972). Takođe, zaključeno je i da su koncentracije Pb u uzorcima plodova gloga bile veće u blizini prometnijih saobraćajnica u odnosu na one sa manjim intenzitetom saobraćaja (Fowles, 1976).

Kostić i saradnici (2011) ispitivali su koncentracije elemenata u različitim vrstama lekovitog bilja među kojima je bio i glog (tabela 7). Uzorkovanje je obavljeno na različitim udaljenostima od saobraćajnica. Koncentracija Fe bila je najveća u svim ispitivanim biljkama u odnosu na koncentracije ostalih elemenata. Elementi Cd, Ni i Pb nisu bili detektovani u ispitivanim biljkama, tako da ih Kostić i saradnici (2011), smatraju bezbednim za korišćenje u lekovite svrhe. Rezultati do kojih su došli Randjelović i saradnici (2014), takođe ukazuju da se plodovi gloga (tabela 7), kao i drugih ispitivanih biljaka, mogu bezbedno koristiti, jer koncentracije ispitivanih elemenata nisu bile visoke, iako su uzorci prikupljeni u blizini saobraćajnice. Randjelović i saradnici (2014) su ispitivali i zemljište iz zone korena gloga. Jake korelacije su uočene između koncentracija sledećih parova elemenata: Fe-Mn, Ni-Mn, Ni-Fe, a srednje jačine između: Mn-Zn, Fe-Zn, Ni-Zn, Pb-Mn, Cd-Mn, Cd-Fe, Cu-Ni, Cd-Ni i Cd-Cu. U radu Randjelovića i saradnika (2013) koncentracije elemenata detektovane u plodovima gloga iz nezagađene oblasti bile su veoma niske (tabela 7), što je ukazivalo da su plodovi bezbedni za ljudsku upotrebu. Zaključak do kojeg su došli Özcan i saradnici (2008) je da su plodovi gloga (tabela 7) i ostalih ispitivanih biljaka bili bogati mineralima i da nisu sadržali visoke koncentracije toksičnih elemenata.

Goji i Dinulić (2011) ispitivali su koncentracije Pb, Cd, Zn i Cu u delovima gloga uzorkovanog u oblasti koja se nalazila pod uticajem dugogodišnjeg zagađenja poreklom iz obojene metalurgije. Zaključeno je da su uzorci biljnog materijala sadržali visoke koncentracije Pb, Zn i Cu, dok su koncentracije Cd prelazile granicu predloženu

od strane WHO za lekovito bilje, a koja iznosi 0,3 µg/g. [Goji i Dinulicã \(2011\)](#) ukazuju da glog iz ove oblasti uzorkovanja nije preporučljivo koristiti za ljudsku upotrebu.

Neki od autora su ispitivali koncentracije elemenata u cvetovima gloga ([Kalny i sar., 2007](#)) ili pupoljcima ([Malandrino i sar., 2015](#)) i zaključili su da čajevi koji su pripremljeni od ovih delova gloga nisu sadržali elemente koji su toksični za ljude.

Analiziranjem sadržaja elemenata u glogu može se zaključiti da su veće koncentracije ispitivanih elemenata detektovane u uzorcima iz industrijskih ili zagađenih oblasti. Višestruka prekoračenja dozvoljenih vrednosti po preporuci WHO za lekovito bilje uočena su za Cd i Pb u lišću gloga ([Little i Martin, 1972](#); [Goji i Dinulicã, 2011](#)).

**Tabela 6.** Literaturni pregled koncentracija elemenata ( $\mu\text{g/g}$  s.m.) u lišću gloga (*Crataegus* spp.)

Oblast uzorkovanja ili izvor zagađenja; biljna vrsta	Oprano dest. vodom	Element								Literatura
		As	Cd	Cu	Fe	Pb	Zn	Ni	Mn	
Okolina Pb/Zn topioničkog kompleksa; <i>C. monogyna</i>	Ne		6,04±0,98			509,00 ±61,1	1300,00 ±74,8			Little (1973)
Rudarska oblast; <i>C. monogyna</i>	Nije naglašeno	n.d.	n.d.	14,5		7,8	39,4			Reglero i sar. (2008)
Rudarska oblast; <i>C. monogyna</i>	Nije naglašeno	n.d.	0,015±0,001	14,10±2,04		0,213 ±0,105	44,40 ±3,66			Reglero i sar. (2008)
Oblast zagađena arsenom; <i>C. monogyna</i>	Da	0,38								Madejón i Lepp (2007)
Okolina saobraćajnica; <i>C. laevigata</i> L.	Da		0,13±0,023; 0,23±0,019; 0,26±0,012; 0,24±0,016; 0,21±0,022	16,01±0,32; 10,16±0,20; 10,19±0,20; 8,69±0,17; 7,81±0,16	189,76±3,79; 219,05±4,38; 181,75±3,63; 336,37±6,73; 348,96±6,98	n.d. n.d. n.d. n.d. n.d.	23,60±0,47; 9,43±0,19; 18,70±0,37; 17,35±0,35; 28,63±0,57	n.d. n.d. n.d. n.d. n.d.	40,55±0,81; 25,78±0,51; 97,08±1,94; 26,71±0,53; 48,20±0,96	Randjelovic i sar. (2014)
Kontrolna oblast; <i>C. monogyna</i>	Nije naglašeno	n.d.	0,005	8,42		0,403	19,8			Reglero i sar. (2008)

s.m. - suve mase.

n.d. - nije detektovano u uzorku (ispod granice detekcije).

**Tabela 7.** Literaturni pregled koncentracija elemenata ( $\mu\text{g/g s.m.}$ ) u plodu gloga (*Crataegus* spp.)

Oblast uzorkovanja ili izvor zagađenja; biljna vrsta	Opran dest. vodom	Element											Literatura
		Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn	
Prometna saobraćajnica; glog	Ne											2,8; 4,5; 4,8; 9,4; 10,5; 11,7; 13,4; 23,8	Fowles (1976)
Prometna saobraćajnica; glog	Da											3,8; 9,9	Fowles (1976)
Okolina saobraćajnice; <i>C. oxyacantha</i> L.	Nije naglašeno			n.d.			9,97 $\pm 0,19$	172,16 $\pm 3,44$	16,02 $\pm 0,30$	n.d.	n.d.	50,80 $\pm 1,02$	Kostić i sar. (2011)
Okolina saobraćajnica; <i>C. laevigata</i> L.	Da		0,10 $\pm 0,008$ ; 0,09 $\pm 0,007$ ; 0,16 $\pm 0,007$ ; 0,12 $\pm 0,007$ ; 0,09 $\pm 0,008$			4,97 $\pm 0,09$ ; 7,96 $\pm 0,16$ ; 6,62 $\pm 0,13$ ; 7,25 $\pm 0,14$ ; 6,52 $\pm 0,13$	145,60 $\pm 2,91$ ; 182,70 $\pm 3,65$ ; 176,50 $\pm 3,53$ ; 256,50 $\pm 5,13$ ; 272,80 $\pm 5,46$	5,47 $\pm 0,16$ ; 25,78 $\pm 0,51$ ; 25,21 $\pm 0,76$ ; 10,63 $\pm 0,32$ ; 10,78 $\pm 0,32$	n.d.	n.d.	11,50 $\pm 0,35$ ; 6,06 $\pm 0,18$ ; 16,49 $\pm 0,49$ ; 13,59 $\pm 0,41$ ; 17,25 $\pm 0,52$	Randjelovic i sar. (2014)	

Nastavak tabele 7.

Oblast uzorkovanja ili izvor zagađenja; biljna vrsta	Opran dest. vodom	Element											Literatura
		Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn	
Prirodno stanište bez direktnog uticaja zagađenja; <i>C. laevigata</i> L.	Da			0,8±0,1			13,2 ±0,3	119,4 ±3,6	6,0 ±0,2	2,4 ±0,1	8,3 ±0,2	11,8 ±0,2	Ranđelović i sar. (2013)
Kupljeno na bazaru; <i>C. orientalis</i>	Nije naglašeno*	313,9 0 ±20,6	1,70 ±0,783	0,09 ±0,07	0,14± 0,04	5,24 ±0,49	3,66 ±0,11	213,60 ±24,27	16,89 ±1,31	1,89 ±0,09	0,80 ±0,79	17,91 ±0,37	Özcan i sar. (2008)

\* Plodovi glova za pripremu čaja ili kesice čaja.

s.m. - suve mase.

n.d. - nije detektovano u uzorku (ispod granice detekcije).

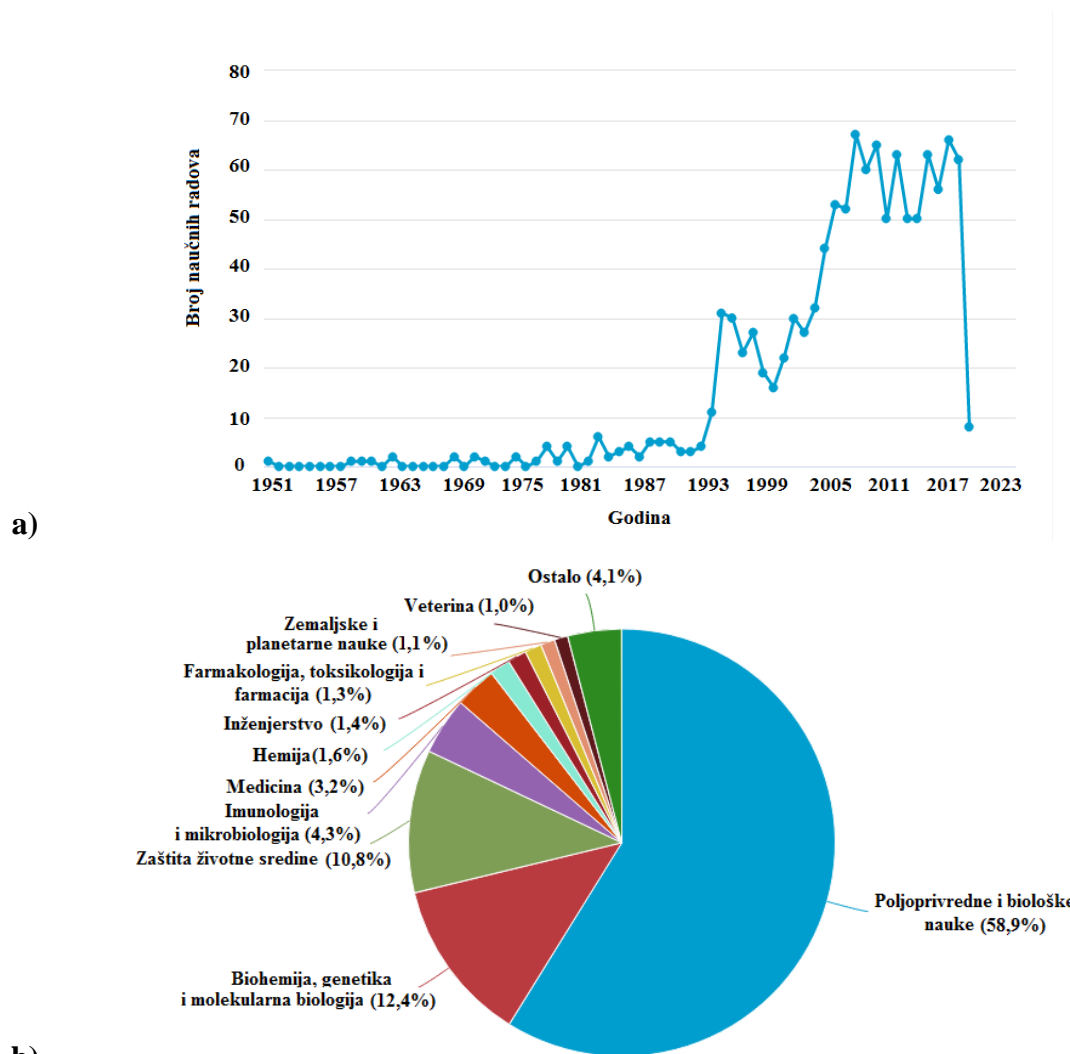


### 3.3. Trnjina (*Prunus* spp.)

Trnjina pripada porodici Rosaceae, rodu *Prunus* (Marakoğlu i sar., 2005; Kostić i sar., 2011). Samonikla je biljka u različitim klimatskim oblastima. Najpoznatija vrsta trnjine je *Prunus spinosa*. Plodovi su tamno plave, teget do crne boje. Plodovi izgledaju sočno, ali su gorkog ukusa (Marakoğlu i sar., 2005). Koristi se za tretmane kožnih bolesti i ublažavanje stomaćnih grčeva, itd. (Kostić i sar., 2011; Randjelovic i sar., 2014). Trnjina se koristi u ljudskoj ishrani u obliku sokova, džemova i čajeva (Randjelovic i sar., 2014).

Po ključnoj reči pretraživanja „*Prunus* spp.” na naučnoj bazi Scopus, u periodu od 1951. do 21.3.2019. godine, objavljeno je ukupno 1143 naučnih radova (slika 8a), od kojih je 10,8% iz oblasti zaštite životne sredine (slika 8b).

Literaturni pregled koncentracija elemenata u lišću i plodovima trnjine prikazan je u tabelama 8 i 9, na kraju poglavlja 3.3. Koncentracije elemenata u lišću i plodovima trnjine nisu se mnogo razlikovale u odnosu na vrednosti koje su detektovane u delovima šipurka i gloga. Međutim, koncentracija Cd u pojedinim uzorcima lišća trnjine (tabela 8) iz oblasti pod uticajem zagađenja iz saobraćaja, blago su prelazile preporučenu dozvoljenu vrednost od 0,3 µg/g za lekovito bilje (Randjelovic i sar., 2014). U istraživanju Kostića i saradnika (2011) Cd nije bio detektovan u uzorcima lišća trnjine, dok su koncentracije ostalih elemenata bile slične kao u istraživanju koje su sproveli Randjelovic i saradnici (2014). Marakoğlu i saradnici (2005) zaključili su da koncentracije elemenata u plodovima trnjine (tabela 9), uzorkovanim u urbanoj oblasti bez industrijskog zagađenja nisu bile visoke. U uzorku iz ove oblasti zabeležena je najniža koncentracija Fe (16,18 µg/g), u odnosu na rezultate do kojih su došli drugi autori (tabela 9).



**Slika 8. a)** Objavljeni naučni radovi po ključnoj reči pretraživanja „*Prunus* spp.” u periodu od 1951-2019.; **b)** Raspodela objavljenih radova po oblastima istraživanja za isti period ([www.scopus.com](http://www.scopus.com))

**Tabela 8.** Literaturni pregled koncentracija elemenata ( $\mu\text{g/g}$  s.m.) u lišću trnjine (*Prunus* spp.)

Oblast uzorkovanja ili izvor zagađenja; biljna vrsta	Oprano dest. vodom	Element							Literatura
		Cd	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn	
Okolina saobraćajnica; <i>P. spinosa</i> L.	Da	0,35±0,037;	14,75±0,29;	216,99±4,34;	48,19±0,96;			27,80±0,56;	Randjelovic i sar. (2014)
		0,31±0,021;	11,92±0,24;	745,57±14,91;	60,18±1,20;			14,28±0,28;	
		0,23±0,017;	6,78±0,14;	316,11±6,32;	107,89±2,15;	n.d.	n.d.	21,51±0,43;	
		0,25±0,023;	6,30±0,13;	346,08±6,92;	49,73±0,99;			19,29±0,39;	
		0,24±0,013	9,92±0,19	358,07±7,16	59,15±1,18			23,56±0,47	

s.m. - suve mase.

n.d. - nije detektovano u uzorku (ispod granice detekcije).

**Tabela 9.** Literaturni pregled koncentracija elemenata ( $\mu\text{g/g}$  s.m.) u plodu trnjine (*Prunus* spp.)

Oblast uzorkovanja ili izvor zagađenja; biljna vrsta	Opran dest. vodom	Element								Literatura	
		Al	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb		Zn
Okolina saobraćajnica; <i>P. spinosa</i> L.	Da		0,22		6,62	162,80	6,94			14,78	Randjelovic i sar. (2014)
			$\pm 0,006$ ;		$\pm 0,13$ ;	$\pm 3,26$ ;	$\pm 0,21$ ;			$\pm 0,44$ ;	
			0,20		9,73	164,50	2,67			4,26	
			$\pm 0,006$ ;		$\pm 0,19$ ;	$\pm 3,29$ ;	$\pm 0,08$ ;			$\pm 0,13$ ;	
			0,13		5,64	251,30	8,34	n.d.	n.d.	15,62	
			$\pm 0,006$ ;		$\pm 0,11$ ;	$\pm 5,03$ ;	$\pm 0,25$ ;			$\pm 0,47$ ;	
			0,13		4,85	222,70	5,05			13,67	
			$\pm 0,007$ ;		$\pm 0,09$ ;	$\pm 4,45$ ;	$\pm 0,15$ ;			$\pm 0,41$ ;	
	0,13		6,84	292,10	5,99			18,48			
	$\pm 0,007$		$\pm 0,14$	$\pm 5,84$	$\pm 0,17$			$\pm 0,55$			
Okolina saobraćajnica; <i>P. spinosa</i> L.	Nije naglašeno		n.d.		8,91	261,60	9,15	n.d.	n.d.	62,20	Kostić i sar. (2011)
					$\pm 0,18$	$\pm 5,23$	$\pm 0,18$			$\pm 1,24$	
Urbana oblast; <i>P. spinosa</i> L. subsp <i>dasyphylla</i> (Schur.)	Ne	26,33	0,279	2,28		16,18	4,58	1,22	1,28		Marakoğlu i sar. (2005)
		$\pm 1,88$	$\pm 0,02$	$\pm 0,71$		$\pm 1,70$	$\pm 0,06$	$\pm 0,12$	$\pm 0,06$		
Prirodno stanište; <i>P. spinosa</i> L.	Da		0,8		13,0	130,8	9,5	3,2	8,8	14,5	Randelović i sar. (2013)
			$\pm 0,1$		$\pm 0,3$	$\pm 3,9$	$\pm 0,3$	$\pm 0,1$	$\pm 0,2$	$\pm 0,3$	

s.m. - suve mase.

n.d. - nije detektovano u uzorku (ispod granice detekcije).

#### 4. OSNOVNE HIPOTEZE I CILJ RADA

Višedecenijska pirometalurška proizvodnja bakra u Boru, dovela je do zagađenja biosfere. Kako bi se dobile potpunije informacije o stanju životne sredine, osim monitoringa zagađenja vazduha koji se redovno obavlja u Boru i okolini, neophodno je praćenje zagađujućih supstanci i u biljkama, što je bio jedan od ciljeva ove doktorske disertacije. Zbog brojnih uticajnih faktora i različitih mehanizama usvajanja elemenata od strane biljaka, veoma je teško razlikovati da li su elementi usvojeni putem korena iz zemljišta ili preko lišća iz atmosfere. Iz tog razloga je neophodno praćenje zagađujućih supstanci osim u biljnom materijalu i u zemljištu. Za analizu su izabrani sledeći elementi: aluminijum (Al), arsen (As), kadmijum (Cd), kobalt (Co), hrom (Cr), bakar (Cu), gvožđe (Fe), mangan (Mn), molibden (Mo), nikl (Ni), olovo (Pb) i cink (Zn).

Biomonitoringom i fitoremedijacijom, moguće je obezbediti informacije o prisustvu i distribuciji zagađujućih supstanci u životnoj sredini, kao i njihovoj sanaciji. Značaj korišćenja biljaka u svrhe biomonitoringa može biti veliki, jer one ukazuju na kumulativno zagađenje, biodostupnost toksičnih supstanci i adaptaciju biljnih vrsta sredinama sa različitim stepenom zagađenja.

U skladu sa navedenim činjenicama, glavni predmet istraživanja doktorske disertacije je ispitivanje mogućnosti korišćenja šipurka, gloga i trnjine u biomonitoringu vazduha i fitoremedijaciji zemljišta, uzorkovanim na mestima koja su na različitim udaljenostima od rudarsko-metalurškog kompleksa.

Pregledom dostupne literature, uočava se da je najveći procenat objavljenih naučnih radova, koji su vezani za biljne vrste šipurak, glog i trnjinu, iz oblasti poljoprivrede i bioloških nauka. Radovi koji se tiču korišćenja ovih biljaka u svrhe biomonitoringa i fitoremedijacije je jako mali, ali s obzirom da se koriste za ljudsku ishranu i kao lekovito bilje, njihova upotreba u ovakve svrhe može biti od velikog značaja.

Na osnovu prethodnih razmatranja, definisane su osnovne hipoteze disertacije:

- ✓ Korišćenje šipurka, gloga i trnjine u pasivnom biomonitoringu kako bi se dobili kompletniji podaci o zagađenju vazduha, zemljišta i samih biljnih vrsta;
- ✓ Uvid u koncentracije ispitivanih elemenata u korenu, granama, lišću i plodovima odabranih biljaka;

- ✓ Definisanje potencijalnih mehanizama (akumulacija, ekskluzija ili indikacija) koje ispitivane biljne vrste koriste suočavajući se sa povećanim zagađenjem sredine u kojoj opstaju ili mogućnosti adaptacije uslovima okoline;
- ✓ Korišćenje šipurka, gloga i trnjine u svrhe fitoremedijacije zagađenog zemljišta na ispitivanom području.

Na osnovu iznetih hipoteza i analiziranja rezultata dobijenih koncentracija elemenata u uzorcima korena, grana, plodova, opranog i neopranog lišća šipurka, gloga i trnjine, kao i zemljištu iz zone korena ispitivanih biljnih vrsta, koji su uzorkovani u oblastima sa različitim stepenom zagađenja, očekuje se utvrđivanje:

- ✓ Razlika detektovanih koncentracija elemenata u uzorcima zemljišta i biljnog materijala iz kontrolne zone uzorkovanja u poređenju sa urbano-industrijskom, urbanom, suburbanom, industrijskom, ruralnom, turističkom i saobraćajnom zonom, sa ciljem odabira adekvatnog biomonitora/bioindikatora;
- ✓ Statističkih značajnosti razlika između koncentracija elemenata u zemljištu iz zone korena ispitivanih biljnih vrsta, uzorkovanom na mestima koja su pod uticajem antropogenih aktivnosti i kontrolnog mesta;
- ✓ Prisustva i količine atmosferskih depozicija analizom uzoraka opranog i neopranog lišća, kao i statističke značajnosti razlika između koncentracija elemenata u uzorcima neopranog i opranog lišća ispitivanih biljnih vrsta na ispitivanom području;
- ✓ Mogućnosti korišćenja izabranih biljnih vrsta za ocenu stanja životne sredine tehnikom biomonitoringa, u oblastima koje su direktno ili indirektno izložene zagađenju;
- ✓ Porekla ispitivanih elemenata u biljkama (iz atmosfere i/ili zemljišta) na osnovu vrednosti bioloških faktora, kao i njihovog ponašanja na osnovu usvajanja različitih koncentracija elemenata iz zemljišta, što uključuje mehanizme akumulacije, indikacije ili njihove ekskluzije;
- ✓ Mogućnosti korišćenja izabranih biljnih vrsta za sanaciju zagađenih zemljišta analiziranim elementima, nekom od metoda fitoremedijacije;
- ✓ Bezbednosti upotrebe šipurka, gloga i trnjine u ljudskoj ishrani i u lekovite svrhe.

Višedecenijsko zagađenje poreklom iz rudarsko-metalurške proizvodnje ostavilo je posledice na kvalitet životnih resursa u ispitivanoj oblasti. Na osnovu analiziranih rezultata, ova doktorska disertacija će pružiti naučni doprinos koji se tiče moguće procene i/ili sanacije zagađenja životne sredine u Boru i okolini, ili oblastima sa sličnim izvorima zagađenja, korišćenjem delova šipurka, gloga i trnjine, tehnikama biomonitoringa i fitoremedijacije.

Kao izuzetno otporne biljne vrste, koje se adaptiraju i uspevaju u različitim klimatskim oblastima, one nisu dovoljno ispitane za korišćenje u istraživanjima o zaštiti životne sredine. Takođe, njihov opstanak u izuzetno zagađenim sredinama, može predstavljati doprinos u smislu pošumljavanja ili ozelenjavanja zagađenih oblasti ili smanjenja erozije zemljišta. Upotreba sve tri biljne vrste u ishrani ili lekovite svrhe širom sveta, predstavlja dodatni razlog za daljim istraživanjima iz oblasti zaštite životne sredine.

## 5. MATERIJALI I METODE RADA

### 5.1. Opis ispitivanog područja

Opština Bor (44°04' severne geografske širine, 22°05' istočne geografske dužine) se nalazi u centralnom delu istočne Srbije. Površina opštine je 856 km<sup>2</sup>, a broj stanovnika prema popisu Republičkog zavoda za statistiku, 2011. godine, bio je 48615 (Popis, 2014). Većina stanovništva živi u gradu (Bor), a manji broj u 12 seoskih naselja (Brestovac, Metovnica, Zlot, Šarbanovac, Oštrelj, Slatina, Donja Bela Reka, Krivelj, Gornjane, Tanda, Luka i Bučje). Bor je od Beograda udaljen oko 240 km. Okružen je planinama Stol (1156 m), Veliki Krš (1146 m) i Crni Vrh (1043 m), dok nadmorska visina grada iznosi 378 m (Serbula i sar., 2017). Klima u Boru i okolini je planinska do umereno-kontinentalna.

#### 5.1.1. Meteorološki parametri ispitivanog područja

Merenje meteoroloških parametara (temperatura vazduha, relativna vlažnost vazduha, atmosferski pritisak, pravac i brzina vetra) obavlja se u meteorološkoj stanici u Institutu za rudarstvo i metalurgiju, gde se vrše očitavanja na svakih sat vremena. U tabeli 10, dat je pregled prosečnih godišnjih vrednosti meteoroloških parametara za petogodišnji period (od 2009. do 2013. godine), zaključno sa godinom u kojoj je obavljeno prikupljanje uzoraka za analizu. Ruža vetrova za isti period prikazana je na slici 9 (IRM Bor, 2009-2013). Vetovi sa najvećom učestalošću na ispitivanom području su pravaca: zapad (Z), zapad-severozapad (ZSZ), severozapad (SZ) i istok (I); dok su vetrovi manje frekvencije bili pravaca: jug (J), istok-jugoistok (IJI), istok-severoistok (ISI), severoistok (SI) i sever-severoistok (SSI). Dominantni vetrovi imaju velikog uticaja na distribuciju zagađenja od izvora do mesta koja su na njihovim pravcima ili doprinose koncentrisanju zagađujućih supstanci pod određenim vremenskim uslovima na lokalnom nivou.

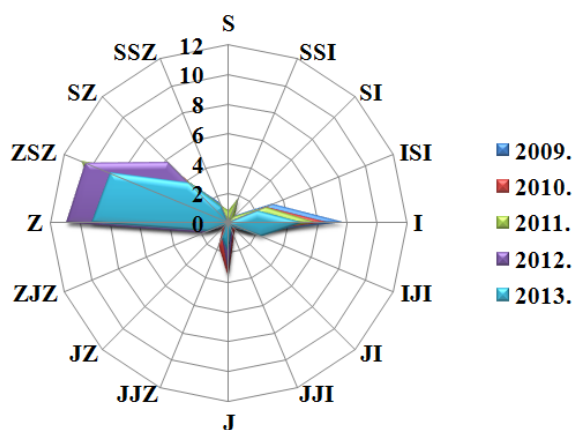


**Tabela 10.** Prosečne godišnje vrednosti meteoroloških parametara u Boru, za petogodišnji period (od 2009-2013. godine) (IRM Bor, 2009-2013)

	Temperatura (°C)	Vlažnost vazduha (%)	Atmosferski pritisak (mbar)	Brzina vetra (m/s)	Maksimalni udar vetra (m/s)
2009	11,3	67,0	971,0	0,5	19,4
2010	10,5	76,0	969,4	0,8	16,8
2011	11,4	/	973,5	0,5	18,1
2012	11,4	/	971,6	0,6	18,1
2013 <sup>a</sup>	12,3	/	970,2	0,5	12,4

„/” - nema podataka.

<sup>a</sup> Period monitoringa od januara do novembra.



**Slika 9.** Ruža vetrova (%) za petogodišnji period (od 2009-2013. godine) u Boru

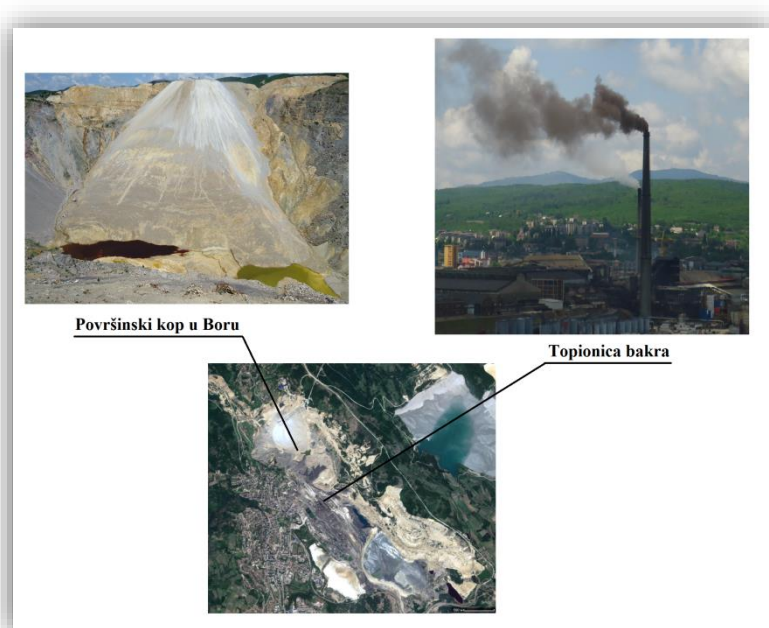
### 5.1.2. Osnovne delatnosti u Boru - rudarstvo i metalurgija

Osnovne privredne delatnosti u Boru i okolini su rudarstvo i metalurgija. Jednim od najvećih proizvođača bakra i plemenitih metala u centralnom delu istočne Evrope smatra se Rudarsko-topioničarski basen Bor (RTB Bor), koji od kraja 2018. godine posluje pod nazivom Serbia ZiJin Bor Copper doo Bor. Aktivna proizvodnja bakra počela je još davne 1903. godine (EIA, 2010). Primarne rude iz kojih se dobija koncentrat bakra su halkopirit ( $\text{CuFeS}_2$ ), halkozin ( $\text{Cu}_2\text{S}$ ) i kovelin ( $\text{CuS}$ ), dok je As prisutan u rudi bakra u obliku minerala arsenopirita ( $\text{FeAsS}$ ) (Serbula i sar., 2013; Serbula i sar., 2017).

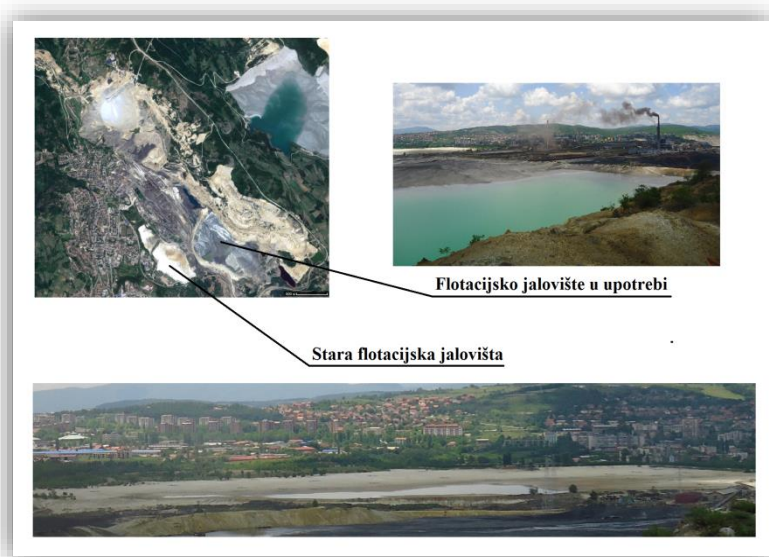
U sklopu rudarsko-metalurškog kompleksa posluju: Rudnici bakra Bor (RBB) i Topionica i rafinacija bakra (TIR), koji se nalaze u oblasti ispitivanog područja (slika 10), ali i Rudnici bakra Majdanpek (RBM).

Podzemna eksploatacija rude u „Jami” u Boru, otpočela je početkom dvadesetog veka. Rudnik sa površinskim kopom u Boru (slika 10a), počeo je sa radom 1924. godine. Od 1993. godine površinski kop u Boru nije u funkciji, pa se od 1998. godine koristi se za odlaganje raskrivke sa površinskog kopa Veliki Krivelj. U okolini rudarsko-metalurškog kompleksa postoje tri jalovišta za odlaganje jalovine nakon procesa flotacije rude (slika 10b). U dolini Borske reke se nalaze dva stara jalovišta, koja su bila u upotrebi od 1933. do 1987. godine. Veći deo ovih jalovišta je prekriven rastinjem, dok drugi deo mora biti prekriven vodom, naročito u letnjem periodu, kako bi se smanjio proces erozije vetrom i zagađenje okolnih naselja fugitivnom prašinom. Treće jalovište koje se koristi za odlaganje jalovine iz borske flotacije, aktivno je od 1985. godine (ERM, 2006).

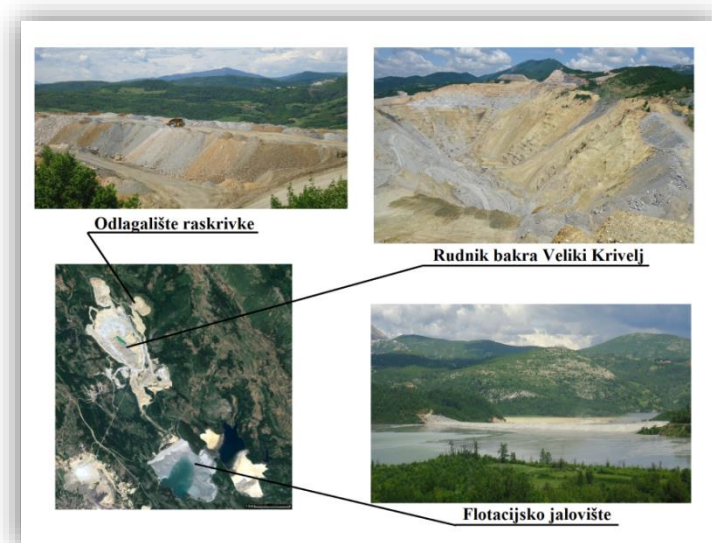
U okolini Bora operativni su rudnici sa površinskom eksploatacijom Veliki Krivelj i Cerovo. Rudnički kompleks Veliki Krivelj (slika 10c), koji se nalazi 8 km severno od Bora i u neposrednoj blizini ruralnog naselja Veliki Krivelj, počeo je sa radom 1983. godine. U blizini površinskog kopa, nalazi se postrojenje za pripremu i flotaciju, odnosno koncentrisanje bakra iz rude, nakon čega se otpad odlaže na flotacijskom jalovištu koje je formirano u dolini Kriveljske reke i sastoji se od dva jezerceta. Rudnik bakra Cerovo (slika 10d), u čijem su sklopu površinski kop Cerovo i postrojenje za pripremu mineralnih sirovin (PMS), nalazi se 14 km severozapadno od Bora. Eksploatacija rude je započeta 1991. i trajala je do 2001. godine, nakon čega je rudnik Cerovo privremeno zatvoren. Sticanjem adekvatnih uslova, 2011. godine, rudnik je ponovo aktiviran. Ruda bakra iz površinskog kopa Cerovo se drobi, melje i zgušnjava u postrojenju za PMS nakon čega se pripremljena pulpa hidrotransportom prebacuje u flotaciju u Boru na dalju preradu (EIA, 2010; ERM, 2006).



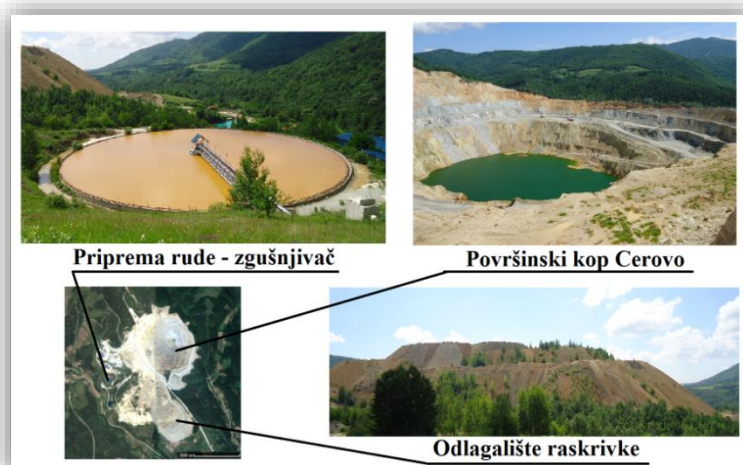
a) Rudnik sa površinskim kopom u Boru i topionica bakra;



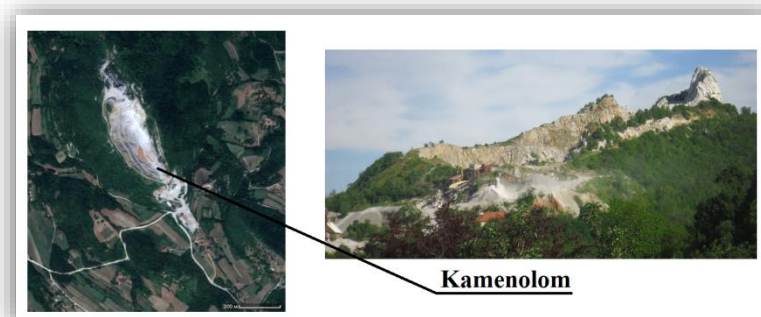
b) Flotacijsko jalovište u upotrebi i stara flotacijska jalovišta u Boru;



c) Rudnički kompleks Veliki Krivelj (površinski kop, odlagalište raskrivke i flotacijsko jalovište);



d) Rudnički kompleks Cerovo (površinski kop, priprema rude za dalju obradu, odlagalište raskrivke);



e) Kamenolom

Slika 10. Individualni izvori zagađenja na ispitivanom području

Flotacija u Boru, koja se nalazi u krugu rudarsko-metalurškog kompleksa, sagrađena je 1933. godine. U flotaciji se priprema i koncentriše ruda bakra iz podzemnog kopa „Jama” u Boru, površinskog kopa u Majdanpeku i već pripremljena ruda sa površinskog kopa Cerovo, dok se jalovina odlaže na već pomenutom jalovištu. Dobijeni koncentriati tokom svih procesnih faza, koji se dalje mogu obrađivati u metalurškim pogonima, sadrže oko 20% bakra (EIA, 2010; ERM, 2006).

Topionica bakra (slika 10a), koja se nalazi u neposrednoj blizini centra grada i stambenih objekata, počela je sa radom 1936. godine. Sedamdesetih godina prošlog veka izvršena je modernizacija, ali je nakon toga veoma malo ulagano u osavremenjivanje tehnologije, što je za posledicu imalo negativan uticaj na životnu sredinu Bora i okoline. U topionicu se dopremaju koncentriati bakra iz flotacija u Boru, Velikom Krivelju i Majdanpeku (EIA, 2010; ERM, 2006). Proces proizvodnje bakra sastoji se od nekoliko faza: prženje u šaržnim reaktorima, topljenje u plamenoj peći, konvertovanje bakrenca u *Peirce-Smith* konvertorima, anodna rafinacija blister bakra i livenje anoda. Otpadni gasovi koji nastaju tokom procesa prženja i konvertovanja, transportuju se do postrojenja za proizvodnju sumporne kiseline. Zbog zastarele tehnologije u kojoj je iskorišćenje ulaznog sumpora bilo samo 40%, preostali gasovi iz procesa topljenja i prženja nisu mogli da se iskoriste za proizvodnju sumporne kiseline pa su ispuštani direktno u atmosferu. Uprkos otprašivanju u više faza, emitovanje preostalih gasova sa visokim sadržajem SO<sub>2</sub> i toksičnim elementima (As, Cd, Cr, Cu, Ni Hg i drugi), predstavljalo je glavni uzrok zagađenja životne sredine (Srebula i sar., 2013; Serbula i sar., 2017).

Dugogodišnji rad rudnika i metalurških pogona, zastarela tehnologija, niska efikasnost proizvodnje i visoki operativni troškovi, izazvali su niz ekoloških problema na ispitivanom području. Iz metalurških pogona topionice, emitovane su velike količine sumpor-dioksida (170000-2500000 t godišnje), prašine (1000-1300 t), arsena (250-1000 t), olova (100-500 t), cinka (300 t), žive (850-3600 kg) i drugih elemenata. Koncentracije toksičnih elemenata u vazduhu, uglavnom su bile u okviru dozvoljenih graničnih vrednosti emisije (GVE) i imisije (GVI), dok je prekoračenje dozvoljenih koncentracija vrlo često evidentirano za SO<sub>2</sub> i arsen. Flotacijska jalovišta i odlagališta raskrivke, predstavljaju značajan izvor prašine, koja naročito u sušnim periodima godine ugrožavaju poljoprivredno zemljište okolnih ruralnih naselja, kao i zdravlje stanovništva



(LEAP, 2003). Kamenolom (slika 10e), koji se nalazi između rudarsko-metalurškog kompleksa i rudnika Cerovo, usled eksploatacije i drobljenja krečnjaka, predstavlja još jedan od izvora zagađenja okoline prašinom (Radojević, 2017). Na zagađenje atmosfere Bora i okoline, takođe utiču i emitovani gasovi iz gradske toplane, individualnih ložišta i saobraćaja, ali u značajno manjoj meri.

Izgradnjom nove topionice bakra, koja je počela sa radom 2016. godine, kao i nove fabrike sumporne kiseline, proces proizvodnje bakra je znatno unapređen, stepen iskorišćenja sumpora je daleko veći, a kvalitet vazuda u Boru i okolini je vidno poboljšan.

### 5.1.3. Zagađujuće supstance u Boru i okolini

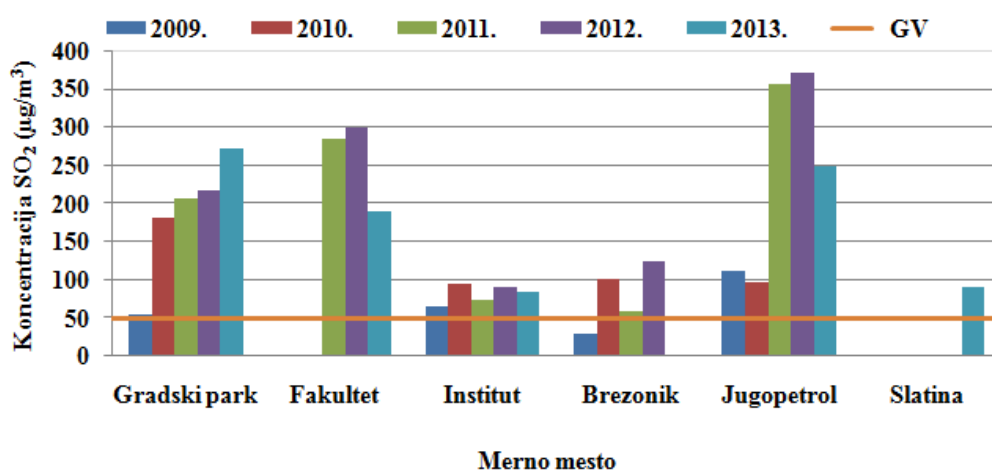
Do izgradnje i puštanja u rad nove topionice bakra, u atmosferu Bora i okoline su emitovane velike količine zagađujućih supstanci. Najveći stepen zagađenja vazduha registrovan je u samom centru grada koji je u blizini rudarsko-metalurškog kompleksa, ali i u urbanim i naseljenim zonama, kao i na pravcima najčešćih vetrova. Zbog izuzetno velikog zagađenja vazduha, ali i drugih životnih resursa, ispitivano područje je smatrano jednim od najzagađenijih u Srbiji, čak i u Evropi. Stara topionica bakra, koja je smatrana najvećim izvorom zagađenja vazduha sumpor-dioksidom (SO<sub>2</sub>), arsenom (As), suspendovanim česticama i taložnim materijama, bila je aktivna tokom 2013. godine kada je obavljeno uzorkovanje biljnog materijala i zemljišta za analizu.

Sistem za monitoring zagađenja vazduha u Boru i okolini je u nadležnosti Opštine Bor i Instituta za rudarstvo i metalurgiju u Boru. Automatskim stanicama i/ili mobilnom aparaturom za praćenje zagađenja, na mestima koja se smatraju najugroženijim zagađenjem iz topionice, prikupljaju se podaci, koji su dostupni stanovništvu na sajtu opštine ([www.opstinabor.rs/ekologija](http://www.opstinabor.rs/ekologija)), ili na sajtu Agencije za zaštitu životne sredine, gde je moguć uvid u monitoring kvaliteta vazduha u Republici Srbiji ([www.amskv.sepa.gov.rs](http://www.amskv.sepa.gov.rs)).

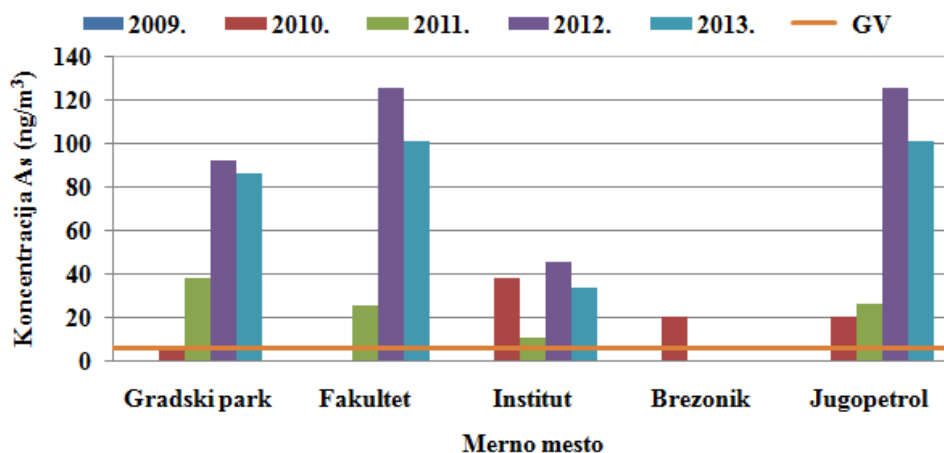
Sistemom za monitoring, osim meteoroloških parametara, prate se koncentracije SO<sub>2</sub>, suspendovanih čestica (particulate matter, PM) i elemenata koji mogu biti prisutni u njima (As, Pb, Cd, Hg, Mn, Zn, Ni i dr.) i ukupnih taložnih materija (UTM) u kojima

se određuju koncentracija  $\text{SO}_4^{2-}$ , pH, rastvorne i nerastvorne materije, sagorljive materije i pepeo, međutim, merna mesta i učestalost merenja nisu ista svake godine.

Dugogodišnje praćenje zagađenja vazduha u Boru i okolini pokazalo je da su koncentracije  $\text{SO}_2$  i As najčešće bile iznad graničnih vrednosti imisije (GVI), što je detaljnije prikazano u radovima: Šerbula i saradnici (2010); Šerbula i saradnici (2013); Šerbula i saradnici (2014); Šerbula i saradnici (2015); Šerbula i saradnici (2017). Na slikama 11a i 11b, date su prosečne godišnje koncentracije  $\text{SO}_2$ , od 2009. do 2013. godine i As od 2010. do 2013. godine, na nekoliko mernih mesta u Boru i okolini.



a)



b)

**Slika 11.** Prosečne godišnje koncentracije: a)  $\text{SO}_2$  ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), od 2009. do 2013. godine; i b) As ( $\text{ng}/\text{m}^3$ ), od 2010. do 2013. godine, na mernim mestima u Boru i okolini

Najveće zagađenje je bilo na mernim mestima koja su najbliža izvoru zagađenja (Gradski park i Fakultet) i na mernom mestu koje je na pravcu dominantnog vetra zapadnog pravca (Jugopetrol). Za prikazani period, na svim mernim mestima su

zabeležena višestruka prekoračenja graničnih vrednosti imisije za SO<sub>2</sub> (50 µg/m<sup>3</sup>) i As (6 ng/m<sup>3</sup>).

U tabelama od 11-13. prikazane su koncentracije zagađujućih supstanci za 2013. godinu, tokom koje je obavljeno uzorkovanje biljnog materijala i zemljišta za analizu. Koncentracije SO<sub>2</sub> (tabela 11, slika 11a) su tokom cele 2013. godine praćene na mestima Gradski park, Fakultet, Institut i Jugopetrol, dok je na mernom mestu Slatina broj dana tokom kojih je vršeno merenje iznosio 269. Prekoračenja prosečne godišnje granične vrednosti imisije je bilo na svim mestima. Prekoračenja dnevne granične vrednosti imisije, koja za SO<sub>2</sub> iznosi 125 µg/m<sup>3</sup> (Uredba br. 63/13), takođe je bilo često tokom 2013. godine. Na mernom mestu Gradski park, broj dana u kojima je koncentracija SO<sub>2</sub> bila iznad dnevne granične vrednosti iznosio je 172, na mestu Fakultet prekoračenja dnevne granične vrednosti je bilo tokom 129 dana, na mestu Institut 74, na mestu Jugopetrol tokom 194 dana, dok je i na mestu Slatina prekoračenje zabeleženo tokom 20 dana.

**Tabela 11.** Prosečna godišnja koncentracija SO<sub>2</sub>, tokom 2013. godine (IRM Bor, 2013)

	Gradski park	Fakultet	Institut	Jugopetrol	Slatina
Prosečna godišnja koncentracija SO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	273	190	85	249	90
<b>GVI* (µg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>50</b>				

\*GVI - Godišnja granična vrednost imisije za SO<sub>2</sub> (Uredba br. 63/13).

U tabeli 12, dat je pregled koncentracija ukupnih suspendovanih čestica (total suspended particles, TSP), suspendovanih čestica prečnika do 10 µm (PM<sub>10</sub>) i elemenata As, Cd, Pb i Ni koji se određuju iz uzorka PM<sub>10</sub> (IRM Bor, 2013). Iako merenja koncentracija čestica nisu vršena tokom cele godine, već samo tokom određenog perioda (maksimalno 74 dana u toku godine), zabeležena su prekoračenja graničnih vrednosti.

U tabeli 13, prikazane su pH vrednost taložnih materija, koncentracija ukupnih taložnih materija (UTM), sulfata i elemenata As, Cd, Pb i Ni u taložnim materijama na četiri merna mesta, tokom 2013. godine (IRM Bor, 2013). Prekoračenja godišnje granične vrednosti imisije UTM bilo je na mernim mestima Bolnica i Šumska sekcija, koja su najbliža izvoru zagađenja i na mernom mestu Oštrej, koje se nalazi na pravcu



dominantnog severozapadnog vetra. Najveće koncentracije UTM, kao i sulfata koji doprinose zakišeljavanju zemljišta, bile su na mernom mestu Bolnica, gde je zabeležena i najniža pH vrednost taložnih materija. Iako godišnje granične vrednosti imisije za sulfate i elemente As, Cd, Pb i Ni u taložnim materijama nisu definisane pravilnikom, najveće koncentracije ovih supstanci su detektovane na mestima najbližim topionici ili na pravcu dominantnih vetrova.

**Tabela 12.** Prosečne koncentracije TSP, PM<sub>10</sub>, As, Cd, Pb i Ni u suspendovanim česticama tokom 2013. godine (IRM Bor, 2013)

Merno mesto	TSP ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	PM <sub>10</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	As ( $\text{ng}/\text{m}^3$ )	Cd ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Pb ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Ni ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
Gradski park	58,4	42,3	85,9	0,0120	0,966	0,007
Fakultet	54,0	30,8	101,0	0,0060	0,463	0,019
Institut	53,6	28,1	33,8	0,0045	0,314	0,008
Jugopetrol	63,0	62,7	101,0	0,0084	0,838	0,110
Slatina	58,4	42,4	36,8	0,0069	0,332	0,005
<b>GV</b>	<b>70</b>	<b>40</b>	<b>6</b>	<b>0,005</b>	<b>0,5</b>	<b>0,020</b>

GV - Godišnja granična vrednost (Uredba br. 63/13).

**Tabela 13.** Prosečne godišnje pH vrednosti taložnih materija, koncentracije UTM, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, As, Cd, Pb i Ni u taložnim materijama tokom 2013. godine (IRM Bor, 2013)

Merno mesto	pH	UTM ( $\text{mg}/\text{m}^2/\text{dan}$ )	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ( $\text{mg}/\text{m}^2/\text{dan}$ )	As ( $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{dan}$ )	Cd ( $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{dan}$ )	Pb ( $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{dan}$ )	Ni ( $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{dan}$ )
Bolnica	5,4	410	43,3	157,0	11,1	216,0	0,5
Šumska sekcija	5,8	372	27,4	109,0	3,5	113,0	1,0
Institut	6,1	118	12,5	5,9	0,6	23,0	0,3
Oštrelj	6,1	246	13,0	29,3	0,5	23,5	<1
<b>GV</b>	/	<b>200</b>	/	/	/	/	/

GV - Godišnja granična vrednost za UTM (Uredba br. 63/13).

/ - nije definisano pravilnikom.

Na osnovu prikazanih podataka o zagađenju tokom 2013. godine, može se zaključiti da je bilo prekoračenja graničnih vrednosti ispitivanih supstanci, naročito na mestima koja su pod direktnim uticajem zagađenja iz topionice bakra.

## 5.2. Uzorkovanje biljnog materijala i zemljišta

Biljne vrste iz porodice Rosaceae, šipurak (*Rosa* spp., predominantno *R. canina* L.), glog (*Crataegus* spp.) i trnjina (*Prunus* spp., predominantno *Prunus spinosa* L.), koje su korišćene u svrhe istraživanja u ovoj doktorskoj disertaciji, izabrane su za uzorkovanje na osnovu više kriterijuma. Pre svega, odabrane biljne vrste su široko rasprostranjene na ispitivanom području Bora i okoline. Višegodišnje su i uspevaju u različitim životnim uslovima, na osnovu čega se može razmatrati dugogodišnje antropogeno zagađenje. Jedan od važnijih kriterijuma je što se šipurak, glog i trnjina, koriste za ljudsku ishranu i u medicinske svrhe, zbog čega bi upotreba zagađenih biljaka dovela do uvođenja toksičnih elemenata u lanac ishrane.

Takođe, broj naučnih istraživanja iz oblasti zaštite životne sredine, a naročito biomonitoringa i fitoremedijacije, u kojima su korišćeni šipurak, glog i trnjina, je zanemarljivo mali za sve tri biljne vrste, u odnosu na druge biljke koje se koriste za ovakve svrhe.

### 5.2.1. Opis zona i mesta uzorkovanja biljnog materijala i zemljišta

Uzorkovanje biljnog materijala i zemljišta obavljeno je u osam zona u kojima je bilo raspoređeno 14 mesta uzorkovanja sa različitim stepenom zagađenja (slika 12). Mesta uzorkovanja biljnog materijala i zemljišta izabrana su u odnosu na: udaljenost od primarnog izvora zagađenja (topionica bakra), sekundarnih izvora zagađenja (kopovi Cerovo i Veliki Krivej, odlagališta raskrivke, flotacijska jalovišta, kamenolom) i ružu vetrova na ispitivanom području, koja direktno utiče na transport zagađujućih supstanci ali i u odnosu na blizinu prometne saobraćajnice. Na određenim mestima uzorkovanja ili u njihovoj blizini, sprovodi se monitoring zagađenja vazduha (suspendovane čestice i/ili taložne materije), zbog čega je moguće utvrditi da li su izabrane biljke pogodne za indikaciju zagađenja okoline. Kao kontrolno mesto izabrano je ruralno naselje Gornjane koje je na većoj udaljenosti od dominantnog izvora zagađenja (oko 17 km), zbog čega se može smatrati nezagađenim. Takođe, planinski venci Veliki i Mali Krš, u blizini kontrolnog mesta, predstavljaju fizičku barijeru zagađenju koje potiče iz rudarsko-

metalurškog kompleksa. Na slici 12, data je mapa mesta uzorkovanja biljnog materijala i zemljišta u odnosu na izvore zagađenja.

U urbano-industrijskoj zoni, mesto uzorkovanja UI, nalazi se na udaljenosti 0,5-2,5 km jugozapadno od topionice bakra, u samom centru Bora. Osim zagađenja iz topionice, mesto uzorkovanja UI je i pod uticajem zagađenja sa flotacijskog jalovišta, ali i gradske toplane i saobraćaja. Dominantni vetrovi su pravaca istok-severoistok i severoistok. U blizini se nalazi i merna stanica za monitoring zagađenja vazduha (Gradski park).

Mesto uzorkovanja U (urbana zona), nalazi se na udaljenosti >2,5 km jugozapadno od topionice bakra, na širem području Bora. Na mestu uzorkovanja U, javljaju se periodična zagađenja iz topionice, sa flotacijskih jalovišta i iz saobraćaja. Dominantni vetrovi su pravaca istok-severoistok i severoistok. U ovoj zoni, na mernom mestu Institut, vrši se monitoring zagađenja vazduha.

U prigradskom naselju Brezonik, koje je udaljeno od topionice bakra oko 2,5 km severozapadno, nalazi se mesto uzorkovanja SU (suburbana zona). Na ovom mernom mestu zagađenje u najvećoj meri potiče iz topionice, sa odlagališta raskrivke i flotacijskih jalovišta. Dominantan vetar je jugoistočnog pravca. U blizini se nalazi i merna stanica za monitoring zagađenja vazduha (Brezonik).

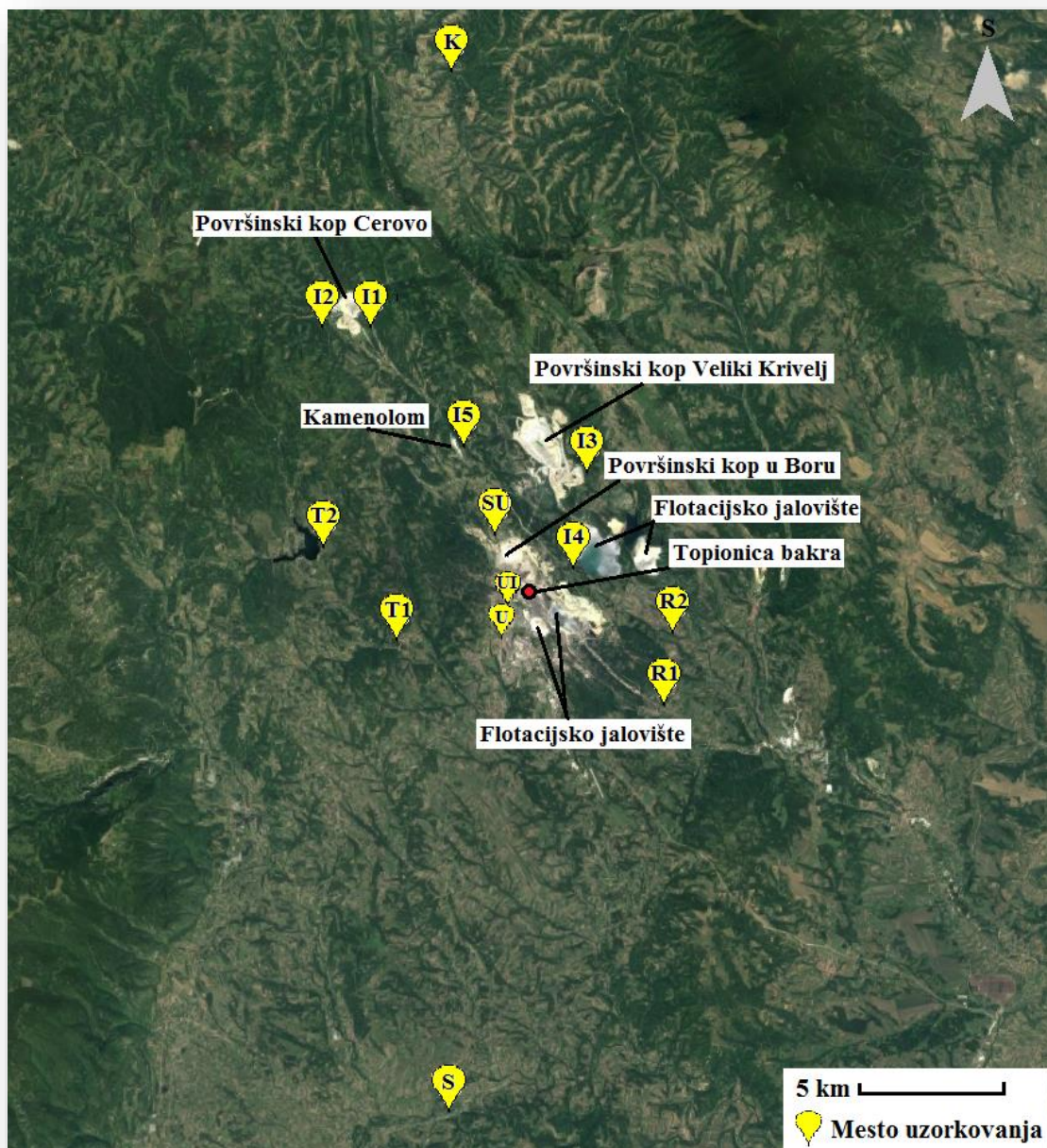
U Industrijskoj zoni izabrano je pet mesta uzorkovanja. Mesta uzorkovanja I1 i I2, koja su udaljena oko 11 km severozapadno od topionice bakra, obuhvataju oblast oko površinskog kopa Cerovo i odlagališta raskrivke, odakle se emituju velike količine prašine. Dominantan vetar je jugoistočnog pravca. Mesto uzorkovanja I3, obuhvata oblast oko površinskog kopa bakra Veliki Krivelj, koje je udaljeno 5,5 km severno od topionice bakra, i okarakterisano je zagađenjem iz topionice, procesa iskopavanja i pripreme rude i sa flotacijskih jalovišta. Dominantan vetar je južnog pravca. Mesto uzorkovanja I4, nalazi se u blizini flotacijskih jalovišta na kojima se odlaže jalovina nakon obrade rude u kriveljskoj flotaciji. Dominantan vetar je jugozapadnog pravca. Mesto uzorkovanja I5, je u okolini kamenoloma na udaljenosti od 6 km sever-severozapadno od topionice. Zagađenje u vidu prašine koje je zastupljeno na ovom mestu prvenstveno potiče iz procesa eksploatacije i usitnjavanja kamena (krečnjaka). Dominantni vetrovi su pravaca jug-jugoistok i jugoistok.

Za uzorkovanje biljnog materijala i zemljišta u ruralnoj zoni izabrana su dva mesta uzorkovanja. Mesto uzorkovanja R1, nalazi se u ruralnom naselju Oštrelj, koje je udaljeno 4,5 km istok-jugoistočno od topionice bakra. Drugo mesto uzorkovanja R2, smešteno je u ruralnom naselju Slatina, udaljenom 6,5 km jugoistočno od topionice bakra. Na ovim mestima se često javljaju emisije zagađujućih supstanci poreklom iz topionice bakra i sa flotacijskih jalovišta. Dominantni vetrovi su pravaca zapad-severozapad i severozapad.

Uzorkovanje u turističkoj zoni obavljeno je na dva mesta. Mesto uzorkovanja T1 se nalazi u okolini Brestovačke banje, na udaljenosti od 4,5 km zapad-jugozapadno od topionice. Mesto uzorkovanja T2 predstavlja okolinu Borskog jezera koje je udaljeno 7 km zapad-severozapadno od topionice. Na mestima uzorkovanja u turističkoj zoni, periodično se javlja zagađenje iz rudarsko-metalurškog kompleksa. Dominantan vetar u oblasti mesta T1 je pravca istok-severoistok, a u oblasti mesta T2 pravaca istok-jugoistok i istok.

U saobraćajnoj zoni, mesto uzorkovanja S, nalazi se duž saobraćajnice Bor-Selište, koja je udaljena 10-20 km južno od topionice, bez uticaja emisija iz procesa proizvodnje bakra. Zagađenje u ovoj oblasti prvenstveno potiče iz izduvnih gasova vozila. Dominantni vetrovi su severnog i sever-severoistočnog pravca.

Kontrolnu zonu predstavlja mesto uzorkovanja K, u ruralnom naselju Gornjane, udaljenom 17 km severno od topionice bakra, bez uticaja zagađenja poreklom iz procesa proizvodnje bakra. Dominantan vetar u kontrolnoj zoni je južnog pravca.



**Slika 12.** Mesta uzorkovanja biljnog materijala i zemljišta u Boru i okolini

(UI - urbano-industrijsko mesto u Boru; U - urbano mesto u Boru; SU - suburbano mesto u Brezoniku; I1 i I2 - okolina površinskog kopa Cerovo i odlagališta raskrivke; I3 - okolina površinskog kopa Veliki Krivelj; I4 - okolina flotacijskog jalovišta; I5 - okolina kamenoloma; R1 - ruralno mesto Oštrelj; R2 - ruralno mesto Slatina; T1 - turističko mesto Brestovačka banja; T2 - turističko mesto Borsko jezero; S - okolina saobraćajnice Bor-Selište; K - kontrolno mesto u Gornjanu)

### 5.2.2. Opis procedure uzorkovanja biljnog materijala i zemljišta

Uzorkovanje biljnog materijala (šipurak, glog i trnjina) i zemljišta obavljeno je početkom jeseni (septembar i prva polovina oktobra 2013. godine), u periodu sazrevanja plodova i pre opadanja lišća biljaka. Uzoci su prikupljeni u periodu bez kiša i vetra. Na taj način je obezbeđeno maksimalno usvajanje elemenata u biljkama, ali i mogućnost određivanja taložnih materija na lišću. Kako bi se izbegla kontaminacija uzoraka, uzorkovanje je izvršeno pomoću alata i sečiva od nerđajućeg čelika, uz minimalno dodirivanje biljnog materijala. Biljke odabrane za uzorkovanje bile su u dobrom stanju, bez vidljivih oštećenja, štetočina i znakova bolesti. Biljni materijal (koren, grane, plodovi i lišće) uzorkovan je sa tri do pet individualnih biljaka na svakom mestu. Zemljište iz zone korena svake biljke (oko 500 g), nakon uklanjanja sloja humusa, uzorkovano je na dubini od oko 20 cm. Na istoj dubini uzorkovan je koren, debljine do 1 cm. Na visini od 1-1,5 m, sa različitih strana svake biljke, uzorkovano je 4-5 grana debljine do 1 cm. Sa istih grana su odvojeni plodovi u zreloj fazi, sličnih boja i oblika, kao i lišće.

Nakon prikupljanja uzoraka, pripremljeni su kompozitni uzorci za svaki pojedinačni deo biljne vrste i zemljišta za svako mesto uzorkovanja (Mingorance i sar., 2007). Upakovani uzorci u papirnim, obeleženim kesama su transportovani do laboratorije, gde je obavljena njihova dalja priprema za analize.

### 5.3. Priprema uzoraka biljnog materijala i zemljišta za analizu

Priprema uzoraka biljnog materijala i zemljišta za fizičko-hemijske analize obavljena je u hemijskoj laboratoriji i laboratoriji za pripremu mineralnih sirovina na Tehničkom fakultetu u Boru.

Kompozitni uzorci lišća sve tri biljne vrste su na samom početku podeljeni na dva dela. Jedan deo lišća je opran destilovanom vodom u trajanju od oko 1 minuta (uzorak opranog lišća), dok je drugi deo ostao neopran (uzorak neopranog lišća). Na ovaj način je omogućeno određivanje razlike koncentracija elemenata u neopranom i opranom lišću. Kompozitni uzorci korena su očetkani radi uklanjanja čestica zemljišta i nečistoća, nakon čega su detaljno oprani destilovanom vodom. Plodovi šipurka, gloga i



trnjine, nisu prani, kao ni uzorci grana. Svi uzorci su sušeni više od 30 dana na vazduhu, na sobnoj temperaturi.

Dalja priprema biljnog materijala obuhvatala je usitnjavanje i mlevenje u mlinu sa sečivom od nerđajućeg čelika. Mlin je čišćen četkicom i brisan alkoholom nakon svakog uzorka, kako bi se izbegla kontaminacija.

Iz uzoraka osušenog zemljišta su uklonjeni kamenčići i biološki materijal, nakon čega je zemljište usitnjeno valjkom i prosejano kroz sita sa otvorima od 2 mm (Impact test equipment ltd., Stevenson Industrial Estate). Šahovskom metodom napravljen je reprezentativni uzorak mase od oko 300 g, koji je do finog praha (veličine čestica 100 µm) samleven u vibracionom mlinu sa prstenovima (SIEBTECHNIK). Nakon mlevenja svakog uzorka zemljišta, mlin je čišćen četkom, a zatim je u njemu mleven kvarcni pesak, nakon čega je mlin detaljno obrisan. Pripremljeni uzorci su do rastvaranja bili skladišteni u označenim papirnim kesama.

#### 5.4. Određivanje sadržaja organskih materija u zemljištu

Organske materije (OM) u zemljištu predstavljaju kompleksnu smešu biljnih i životinjskih rezidua. One utiču na brojne karakteristike zemljišta, kao i na ciklus hranljivih materija. Sadržaj OM predstavlja ključni faktor koji utiče na održavanje biološke produktivnosti zemljišta i približno neutralne pH vrednosti zemljišnog rastvora (Mao i sar., 2014; Eash i sar., 2016; McCauley i sar., 2017).

Određivanje sadržaja organskih materija u zemljištu obavljeno je u hemijskoj laboratoriji na Tehničkom fakultetu u Boru. Pripremljeni uzorci zemljišta su do konstantne mase sušeni u sušnici na temperaturi od 105°C. Nakon sušenja je određivan sadržaj organskih materija u zemljištu gravimetrijskom metodom gubitka mase žarenjem (LOI - loss on ignition). Uzorci zemljišta su u trajanju od 2h žareni u peći (model EDP-05, Elektron) na temperaturi od 450°C (Kalinovic i sar., 2016, 2017; Radojevic i sar., 2017). Do potpunog hlađenja i merenja mase, lončići sa uzorcima zemljišta su čuvani u eksikatoru. Merenje mase uzoraka zemljišta obavljeno je na analitičkoj vagi (model PW2014, Adam Equipment). Nakon žarenja uzoraka, lončići su čišćeni i žareni na temperaturi od 550°C u trajanju od 2h. Prema jednačini (1) izvršen je proračun sadržaja organskih materija u zemljištu:

$$OM = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \cdot 100 \quad (1)$$

gde su:

OM - sadržaj organskih materija u zemljištu (%);

$m_1$  - masa suvog zemljišta pre žarenja (g);

$m_2$  - masa zemljišta nakon žarenja (g).

Sadržaj organskih materija u mineralnim zemljištima se obično kreće od 0,5-5% (USDA, 1996; Sparks, 2003). Zemljišta se na osnovu sadržaja organskih materija dele na (USEPA, 2007):

- zemljišta sa niskim sadržajem organskih materija (<2%);
- zemljišta sa srednjim sadržajem organskih materija (od 2 do <6%);
- zemljišta sa visokim sadržajem organskih materija (od 6 do 10%).

### 5.5. Određivanje kiselosti uzorkovanog zemljišta

Važna karakteristika zemljišta je njegova pH vrednost, koja ukazuje na njegovu kiselost, odnosno alkalnost. Većina biljaka se dobro razvija pri pH vrednostima zemljišta od 5,5-8,3. Međutim, optimalan opseg pH zemljišta za adekvatan rast i razvoj biljaka je od 6,5-7,8, jer je u ovom opsegu većina nutrijenata optimalno dostupna biljkama (Eash i sar., 2016).

Određivanje pH vrednosti uzorkovanog zemljišta obavljeno je u hemijskoj laboratoriji na Tehničkom fakultetu u Boru. Aktivna ( $pH(H_2O)$ ) i potencijalna kiselost zemljišta ( $pH(KCl)$ ), određivane su prema ISO standardu 10390:2005 (ISO, 2005). Aktivna kiselost zemljišta određivana je u suspenziji zemljišta i destilovane vode u zapreminskom odnosu 1:5. Potencijalna kiselost zemljišta određivana je u suspenziji zemljišta i 1M rastvora KCl, u zapreminskom odnosu 1:5. Zemljište je mereno posebnom plastičnom kašičicom zapremine 5 cm<sup>3</sup>. Pripremljene suspenzije zemljišta su u poklopljenim laboratorijskim čašama mešane na magnetnoj mešalici (model Rotamix SHP-10, Tehnica) u trajanju od 30 minuta. Zatim je na pH-metru (model 700, Eutech), koji je kalibrisan puferskim rastvorima pH3, pH7 i pH12, na temperaturi od 20 ± 0,2°C određivana kiselost zemljišnog rastvora.



Klasifikacija zemljišta prema kiselosti je izvršena na sledeće kategorije (USDA, 1998):

- Ekstremno kiselo (pH=3,5-4,4);
- Veoma jako kiselo (pH=4,5-5,0);
- Jako kiselo (pH=5,1-5,5);
- Umereno kiselo (pH=5,6-6,0);
- Slabo kiselo (pH=6,1-6,5);
- Neutralno (pH=6,6-7,3);
- Slabo alkalno (pH=7,4-7,8);
- Umereno alkalno (pH=7,9-8,4);
- Jako alkalno (pH=8,5-9,0).

#### 5.6. Mikrotalasno rastvaranje uzoraka zemljišta i biljnog materijala

Mikrotalasno rastvaranje uzoraka zemljišta i biljnog materijala obavljeno je u akreditovanoj laboratoriji za hemijska ispitivanja u Institutu za rudarstvo i metalurgiju u Boru. Rastvaranje uzoraka je urađeno prema metodi 3050B Američke agencije za zaštitu životne sredine (USEPA, 1996).

Rastvaranje uzoraka zemljišta urađeno je u mikrotalasnoj pećnici (model Mars5, CEM), u kontrolisanim uslovima, na 180 °C. Uzorci zemljišta, mase 0,25 g rastvarni su u 13 cm<sup>3</sup> carske vode, za čiju je pripremu korišćena smeša HNO<sub>3</sub> (65%, *p.a.*, Baker) i HCl (36%, *p.a.*, Baker) zapreminskog odnosa 1:3.

Rastvaranje uzoraka biljnog materijala urađeno je u mikrotalasnoj pećnici (model Ethos One, Microwave Milestone), u kontrolisanim uslovima, na 180 °C. Uzorci biljnog materijala, mase 0,5 g rastvarni su u 10 cm<sup>3</sup> HNO<sub>3</sub> (65%, *p.a.*, Baker) i 2 cm<sup>3</sup> H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (30%, *p.a.*, Merc).

Ohlađeni rastvoreni uzorci zemljišta i biljnog materijala su preneti u normalne sudove zapremine 50 cm<sup>3</sup>, nakon čega su kompletirani ultračistom destilovanom vodom.

## 5.7. Određivanje koncentracija elemenata u zemljištu i biljnom materijalu

Hemijska analiza uzorkovanog zemljišta i biljnog materijala obavljena je u akreditovanoj laboratoriji za hemijska ispitivanja u Institutu za rudarstvo i metalurgiju u Boru. Koncentracije Al, As, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni, Pb i Zn u uzorcima zemljišta i biljnog materijala određivane su na atomskom emisionom spektrometru sa indukovano spregnutom plazmom (Inductively coupled plasma atomic emission spectroscopy, ICP–AES, SPECTRO model Blue). Preciznost dobijenih koncentracija analiziranih elemenata proveravana je pomoću slepe probe, kao i 3 tehnička replikata za svaki uzorak, pri čemu odstupanja u dobijenim koncentracijama nisu bila veća od 10% (Kalinović i sar., 2019). Koncentracije određivanih elemenata date su u  $\mu\text{g/g}$  suve mase.

## 5.8. Metode statističke obrade podataka

Analiza i obrada podataka obavljena je softverskim paketom SPSS 17.0. Proverom normalnosti raspodele podataka pomoću Shapiro-Wilk testa, utvrđeno je da većina grupa podataka nema normalnu raspodelu, na osnovu čega su za obradu istih, korišćene neparametarske statističke metode. Povezanost između koncentracija elemenata u zemljištu i delovima ispitivanih biljnih vrsta utvrđena je na osnovu izračunatih Spirmanovih koeficijenata korelacije. Autor Pallant (2001) navodi da jačina korelacione veze može biti: mala ( $r=0,10-0,29$ ), srednja ( $r=0,30-0,49$ ) i velika ( $r=0,50-1,0$ ). Bitan faktor je nivo statističke značajnosti korelacija (dvostrano, Sig. 2 tailed:  $p<0,05$  i  $p<0,001$ ), koji ne pokazuje jačinu veze, već sa koliko poverenja treba posmatrati dobijene vrednosti (Pallant, 2001).

Statistička značajnost razlika u koncentracijama elemenata u zemljištu sa kontrolnog i svih ostalih mesta uzorkovanja, kao i statistička značajnost razlika između koncentracija elemenata u opranom i neoprano lišću ispitivanih biljnih vrsta, određivane su Wilcoxon Signed-Ranks testom. Kada je nivo značajnosti jednak ili manji od 0,05 ( $p\leq 0,05$ ), smatra se da je razlika između koncentracija značajna.

## 5.9. Biološki faktori

Mobilnost elemenata u zemljištu i delovima biljaka je važno poznavati radi boljeg razumevanja akumulacionih i translokacionih procesa koji se odvijaju u biljkama.

**Faktor obogaćenaja** (engl. *Enrichment Factor*, EF) zemljišta i biljnog materijala, ukazuje na antropogeno poreklo elemenata i stepen njihove kontaminacije (Mingorance i sar., 2007; Christou i sar., 2017). Obogaćenje se dešava kada se zagađujuće supstance ne razgrađuju brzo, što rezultira njihovim nakupljanjem u zemljištu ili biljci (Nouri i sar., 2011). Faktor obogaćenja zemljišta i biljnog materijala se izračunava prema jednačini (2) (Mingorance i sar., 2007; Christou i sar., 2017):

$$EF = \frac{C}{C_k} \quad (2)$$

gde su:

C - koncentracija elementa u zemljištu ili delu biljke ( $\mu\text{g/g}$ ), sa određenog mesta uzorkovanja;

$C_k$  - koncentracija elementa u zemljištu ili delu biljke ( $\mu\text{g/g}$ ), iz kontrolne zone.

Na osnovu vrednosti faktora obogaćenja, prema Enuneku i saradnicima (2017) postoji pet kategorija na osnovu kojih se može utvrditi stepen kontaminacije zemljišta:

- $EF < 2$ : nema obogaćenja ili minimalno obogaćenje zemljišta;
- $2 \leq EF < 5$ : umereno obogaćenje zemljišta;
- $5 \leq EF < 20$ : značajno obogaćenje zemljišta;
- $20 \leq EF < 40$ : veoma visoko obogaćenje zemljišta;
- $EF > 40$ : ekstremno visoko obogaćenje zemljišta.

Takođe, kada je vrednost  $EF > 2$ , smatra se da dolazi do obogaćenja biljnog materijala ispitivanim elementima (Mingorance i sar., 2007).

**Biokoncentracioni faktor** (engl. *Bioconcentration Factor*, BCF), ukazuje na sposobnost biljaka da akumuliraju elemente iz zemljišta preko korena. Na osnovu jednačine (3) može se izračunati vrednost BCF (Nouri i sar., 2011; Mendoza i sar., 2015; Christou i sar., 2017):

$$BCF = \frac{C_{\text{koren}}}{C_{\text{zemljište}}} \quad (3)$$

gde su:

$C_{\text{koren}}$  - koncentracija elementa u korenu biljke ( $\mu\text{g/g}$ );

$C_{\text{zemljište}}$  - koncentracija elementa u zemljištu ( $\mu\text{g/g}$ ).

Ukoliko je vrednost  $\text{BCF} > 1$ , smatra se da dolazi do akumulacije elemenata iz zemljišta u korenu (Radojevic i sar., 2017).

**Biološki apsorpcioni koeficijent** (engl. *Biological Absorption Coefficient*, BAC) je jedan od najvažnijih bioloških faktora, kojim se procenjuje odnos koncentracija elemenata u lišću biljaka i zemljištu na kojem rastu (Favas i sar., 2013). Jednačinom (4) se mogu izračunati vrednosti BAC (Kabata-Pendias, 2011; Bravo i sar., 2017):

$$\text{BAC} = \frac{C_{\text{lišće}}}{C_{\text{zemljište}}} \quad (4)$$

gde su:

$C_{\text{lišće}}$  - koncentracija elementa u lišću (ili nadzemnom delu biljke) ( $\mu\text{g/g}$ );

$C_{\text{zemljište}}$  - koncentracija elementa u zemljištu ( $\mu\text{g/g}$ ).

U zavisnosti od opsega BAC, apsorpcija elemenata u nadzemnim delovima biljaka, a najčešće u lišću, može se klasifikovati u nekoliko kategorija (Nagaraju i Karimulla, 2002; Favas i sar., 2013):

- BAC= 10-100 (intenzivna apsorpcija);
- BAC= 1-10 (jaka apsorpcija);
- BAC= 0,1-1 (srednja apsorpcija);
- BAC= 0,01-0,1 (slaba apsorpcija);
- BAC= 0,001-0,01 (veoma slaba apsorpcija).

Osim toga, na osnovu vrednosti BAC, izvršena je podela mehanizama usvajanja elemenata od strane biljaka na: akumulaciju, kada je  $\text{BAC} > 1$ ; indikaciju, kada je  $\text{BAC} \approx 1$ , i ekskluziju, kada je  $\text{BAC} < 1$  (Baker, 1981).

**Translokacioni faktor** (engl. *Translocation Factor*, TF) ukazuje na sposobnost biljaka da translociraju elemente iz korena do nadzemnih delova (lišća). Vrednosti TF se računaju prema jednačini (5) (Nouri i sar., 2011; Mendoza i sar., 2015):

$$TF = \frac{C_{\text{lišće}}}{C_{\text{koren}}} \quad (5)$$

gde su:

$C_{\text{lišće}}$  - koncentracija elementa u lišću (ili nadzemnom delu biljke) ( $\mu\text{g/g}$ );

$C_{\text{koren}}$  - koncentracija elementa u korenu ( $\mu\text{g/g}$ ).

Translokacija elemenata iz korena do nadzemnih delova biljke se smatra efikasnom kada je  $TF > 1$  (Marbaniang i Chaturvedi, 2014; Yildirim i Sasmaz, 2017; Shiyab, 2018).

### 5.9.1. Kriterijumi za definisanje mogućnosti korišćenja biljaka u fitoremedijaciji

Biljke koje imaju sposobnost usvajanja velikih količina elemenata (kao što su hiperakumulatori), često su pogodne za primenu u nekoj metodi fitoremedijacije (Kabata-Pendias, 2011). Na osnovu vrednosti bioloških faktora može se pretpostaviti da li je biljka pogodna za fitoekstrakciju ili fitostabilizaciju.

Proces fitoekstrakcije zahteva efiksnu translokaciju elemenata do delova biljke koji se lako uklanjaju, kao što su izdanci ili nadzemni delovi. Biljke kod kojih su vrednosti biokoncentracionog (BCF) i translokacionog (TF) faktora veće od jedinice ( $BCF > 1$  i  $TF > 1$ ) za određeni element, mogu se potencijalno koristiti za njegovu fitoekstrakciju iz zemljišta (Nouri i sar., 2011).

Sposobnost biljaka da redukuju translokaciju elemenata iz korena do nadzemnih delova, čini ih pogodnim za primenu u fitostabilizaciji zagađenih površina, kao što su rudarska jalovišta. Biljke kod kojih je  $BCF > 1$ , a  $TF < 1$  mogu biti pogodne za potencijalnu upotrebu u fitostabilizaciji (Nouri i sar., 2011; Lorestani i sar., 2013).

## 6. REZULTATI I DISKUSIJA

### 6.1. Karakteristike zemljišta iz zone korena šipurka, gloga i trnjine

#### 6.1.1. Sadržaj organskih materija u uzorkovanom zemljištu

Sadržaj organskih materija u zemljištu iz zone korena šipurka, gloga i trnjine dat je u tabeli 14. U uzorkovanom zemljištu sadržaj organskih materija kretao se od 5,39% u zemljištu gloga (mesto I5) do 15,72% u zemljištu trnjine (mesto S). Većina uzoraka zemljišta iz zone korena, sve tri biljne vrste je imala visok sadržaj organskih materija (>6%), prema klasifikaciji koja je data u poglavlju 5.4.

U odnosu na mesta uzorkovanja, najviše organskih materija u zemljištu iz zone korena šipurka bilo je u uzorku sa mesta U, a u zemljištu gloga i trnjine sa mesta S, tj. iz zone saobraćaja. Najniži sadržaj OM zabeležen je u zemljištu iz zone korena šipurka i gloga sa mesta I5 (okolina kamenoloma) i zemljištu trnjine sa mesta R1.

**Tabela 14.** Sadržaj organskih materija (OM) u zemljištu iz zone korena šipurka, gloga i trnjine na ispitivanom području

Mesto uzorkovanja	OM (%)			
	Šipurak	Glog	Trnjina	Prosek
UI	6,73	9,19	15,55	10,49
U	14,58	6,01	7,72	9,44
SU	7,03	7,78	15,33	10,05
I1	6,93	6,41	7,39	6,91
I2	7,50	6,01	6,52	6,67
I3	11,52	8,82	8,60	9,65
I4	12,30	5,79	8,44	8,85
I5	5,70	5,40	6,88	6,00
R1	9,12	6,50	5,71	7,11
R2	9,40	11,29	6,56	9,08
T1	10,54	8,97	11,79	10,43
T2	11,97	10,13	8,18	10,09
S	8,89	15,30	15,72	13,30
K	8,53	6,72	7,38	7,54

Organske materije u zemljištu su važne jer stabilizuju zemljište tako što smanjuju stepen erozije, pomažu rast biljaka snabdevajući ih hranljivim materijama i vodom. Međutim, jedna od njihovih najbitnijih uloga je ta što OM imaju veliki kapacitet za razmenu katjona, pri čemu mogu da grade komplekse sa metalima, zadržavajući ih ili smanjujući mobilnost metala u zemljištu (USDA, 1996; Sparks, 2003; Quenea i sar., 2009; McCauley i sar., 2017).

### 6.1.2. Kiselost uzorkovanog zemljišta

Vrednosti aktivne i potencijalne kiselosti zemljišta iz zone korena šipurka, gloğa i trnjine prikazane su u tabeli 15. Na osnovu prethodno date klasifikacije (poglavlje 5.5), aktivna kiselost zemljišta iz ispitivane oblasti, za sve tri biljne vrste, kretala se od kategorije veoma jako kiselog zemljišta do umereno alkalnog, sa izuzetkom ekstremno kiselog zemljišta šipurka sa mesta uzorkovanja R2, čija je pH vrednost iznosila 4,37. Zemljište sa kontrolnog mesta, za sve tri ispitivane biljke, bilo je slabo kiselo (od 6,22-6,45).

**Tabela 15.** Kiselost zemljišta iz zone korena šipurka, gloğa i trnjine na ispitivanom području

Mesto uzorkovanja	pH(H <sub>2</sub> O)			pH(KCl)			ΔpH <sup>a</sup>		
	Š	G	T	Š	G	T	Š	G	T
UI	6,81	5,76	5,50	5,82	4,38	4,21	0,99	1,38	1,29
U	7,42	6,39	6,01	7,05	5,75	4,66	0,37	0,64	1,35
SU	5,82	5,70	5,91	4,61	4,91	4,94	1,21	0,79	0,97
I1	5,17	5,31	5,60	3,99	4,12	4,15	1,18	1,19	1,45
I2	5,51	5,01	5,61	4,32	3,91	4,13	1,19	1,10	1,48
I3	7,53	6,78	7,47	7,08	5,90	6,97	0,45	0,88	0,50
I4	7,05	7,03	7,46	6,32	5,93	7,32	0,73	1,10	0,14
I5	7,60	7,71	8,01	7,31	7,38	7,65	0,29	0,33	0,36
R1	5,26	7,31	7,32	4,36	6,96	6,91	0,90	0,35	0,41
R2	4,37	4,91	7,49	3,34	3,74	6,77	1,03	1,17	0,72
T1	6,04	5,41	7,47	4,76	4,32	6,94	1,28	1,09	0,53
T2	6,66	5,66	5,81	5,79	4,48	4,51	0,87	1,18	1,30
S	7,82	7,51	7,65	7,07	6,70	7,02	0,75	0,81	0,63
K	6,22	6,33	6,45	5,25	4,98	5,02	0,97	1,35	1,43

<sup>a</sup>ΔpH=pH(H<sub>2</sub>O)-pH(KCl).

Vrednosti u tabeli prikazane „*italic*” su oko 1 ili iznad 1.

Š-šipurak; G-gloğ; T-trnjina.

Upoređivanjem pH vrednosti zemljišta na ispitivanom području, najveća kiselost zemljišta je bila na mestima R2 (zemljište iz zone korena šipurka i gloğa) i UI (zemljište iz zone korena trnjine), ali i na mestima I1 i I2 u okolini odlagališta raskrivke površinskog kopa Cerovo. Najmanja kiselost bila je na mestima I5 (okolina kamenoloma) i S (zona saobraćaja). Na osnovu dobijenih pH vrednosti se može zaključiti da rudarsko-metalurške aktivnosti imaju uticaja na povećanu kiselost zemljišta.

Razlika između aktivne i potencijalne kiselosti zemljišta,  $\Delta\text{pH}$ , daje informaciju o tendenciji acidifikacije zemljišta. Ukoliko su vrednosti  $\Delta\text{pH} \approx 1$  ili  $>1$ , zemljište ima tendenciju acidifikacije (Zseni i sar., 2003). Razlike između aktivne i potencijalne kiselosti ispitivanog zemljišta bile su približno ili iznad 1, u osam uzoraka zemljišta iz zone korena šipurka (UI, SU, I1, I2, R1, R2, T1 i K), u osam uzoraka zemljišta iz zone korena gloğa (UI, I1, I2, I4, R2, T1, T2 i K) i u sedam uzoraka zemljišta iz zone korena trnjine (UI, U, SU, I1, I2, T2 i K). U uzorcima zemljišta sa ovih lokacija postoji tendencija acidifikacije, što može uticati na mobilnost elemenata, zbog čega oni mogu postati biodostupni biljkama.

## 6.2. Elementi u zemljištu na ispitivanom području Bora i okoline

Koncentracije Al, As, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni, Pb i Zn u zemljištu iz zone korena šipurka, gloğa i trnjine, uzorkovanom na 14 mesta na ispitivanom području, kao i faktori obogaćenja zemljišta, date su na slikama od 13 do 36. Koncentracije elemenata upoređivane su sa odgovarajućim graničnim (GV) i remedijacionim vrednostima (RV) koje su propisane Uredbom Republike Srbije (Uredba br. 88/10). Prekoračenja propisanih vrednosti mogu ukazati na visinu kontaminacije zemljišta određenim elementima. Vrednosti faktora obogaćenja zemljišta tumačene su na osnovu kategorizacije date u poglavlju 5.9, koje takođe ukazuju na nivo kontaminacije.

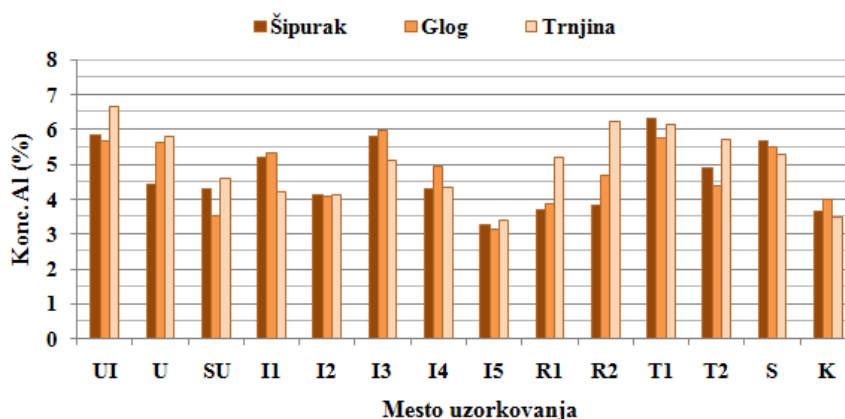
### 6.2.1. Aluminijum u zemljištu iz zone korena ispitivanih biljnih vrsta

Koncentracije Al u zemljištu iz zone korena analiziranih biljnih vrsta (slika 13) bile su u okviru ili iznad prosečnih vrednosti u zemljištu (1-5%) (Kabata-Pendias,

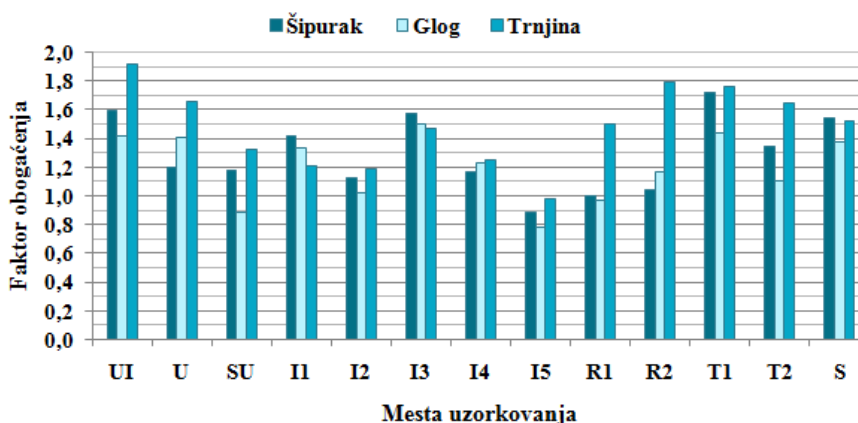


2011). Iako su koncentracije Al u uzorcima zemljišta iz zone korena šipurka, gloga i trnjine uglavnom bile približne, zapaža se nešto veći sadržaj Al u zemljištu iz zone korena trnjine na mestima uzorkovanja UI, U, SU, I5, R1, R2 i T2.

Vrednosti faktora obogaćenja zemljišta aluminijumom bile su  $<2$  (slika 14), što ukazuje da nema obogaćenja, odnosno kontaminacije zemljišta ovim elementom. Na osnovu toga, može se smatrati da je prisustvo ovog elementa u zemljištu, na svim mestima uzorkovanja, prirodnog porekla, iako postoje razlike u koncentracijama Al u zemljištu iz kontrolne zone u poređenju sa ostalim zonama.



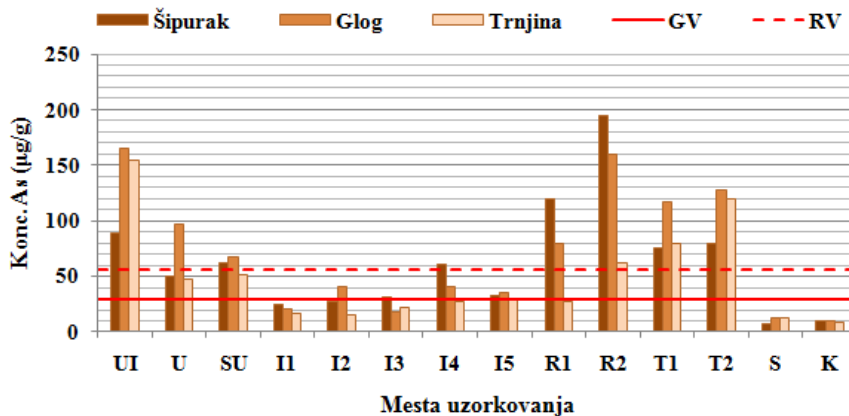
**Slika 13.** Koncentracija Al (%) u zemljištu iz zone korena šipurka, gloga i trnjine prema mestima uzorkovanja



**Slika 14.** Faktor obogaćenja zemljišta Al iz zone korena šipurka, gloga i trnjine prema mestima uzorkovanja

### 6.2.2. Arsen u zemljištu iz zone korena ispitivanih biljnih vrsta

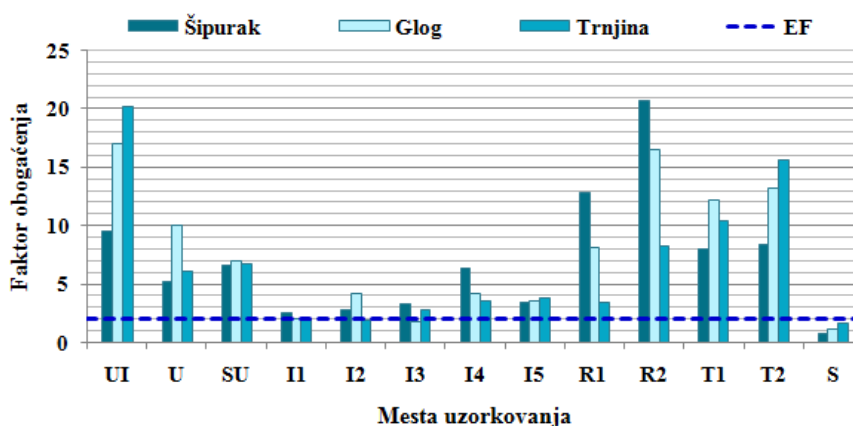
Svetski prosek koncentracija As u zemljištu iznosi 6,83  $\mu\text{g/g}$  (Kabata-Pendias, 2011). Na ispitivanom području Bora i okoline, koncentracije As u zemljištu iz zone korena šipurka, gloga i trnjine (slika 15) bile su višestuko iznad svetskog proseka. Uredbom Republike Srbije (Uredba br. 88/10) za As propisana je granična vrednost (GV) koja iznosi 29  $\mu\text{g/g}$  i remedijaciona vrednost (RV) koja iznosi 55  $\mu\text{g/g}$ . Na mestima uzorkovanja II, S i K nije bilo prekoračenja GV u zemljištu ni za jednu ispitivanu biljnu vrstu. Međutim, na ostalim mestima uzorkovanja, bilo je značajnih prekoračenja GV, ali i RV. Naročito velika prekoračenja RV uočavaju se u zemljištu šipurka, gloga i trnjine iz urbano-industrijske i ruralne zone, koje su pod velikim uticajem zagađenja poreklom iz rudarsko-metalurške proizvodnje bakra, ali i u uzorcima zemljišta iz turističke zone koja se nalazi na pravcima dominantnih vetrova. Upoređujući po biljnim vrstama, može se zaključiti da nema pravilnosti u zadržavanju većih koncentracija As u zemljištu isključivo jedne biljne vrste.



**Slika 15.** Koncentracija As ( $\mu\text{g/g}$ ) u zemljištu iz zone korena šipurka, gloga i trnjine prema mestima uzorkovanja

Obogaćenja zemljišta arsenom (slika 16), nije bilo samo u saobraćajnoj zoni za sve tri biljne vrste i na mestu I2 iz zone korena trnjine. Na osnovu vrednosti faktora obogaćenja zemljišta arsenom, na skoro svim mestima u industrijskoj zoni zemljište je bilo umereno obogaćeno, dok je na mestima iz UI, U, SU, R i T zone zemljište bilo značajno obogaćeno. Zemljište šipurka sa mesta uzorkovanja R2 i trnjine sa mesta UI

okarakterisana su kao zemljišta koja su vrlo visoko obogaćena arsenom. Na osnovu vrednosti faktora obogaćenja, može se reći da je većina uzoraka zemljišta iz ispitivane oblasti kontaminirana ovim elementom. S obzirom da uzorci zemljišta iz zone saobraćaja nisu bili obogaćeni arsenom ni za jednu biljnu vrstu, smatra se da je poreklo ovog elementa najverovatnije iz rudarsko-metalurških procesa proizvodnje bakra. U prilog tome je i činjenica da je As prisutan u rudi iz koje se proizvodi bakar.



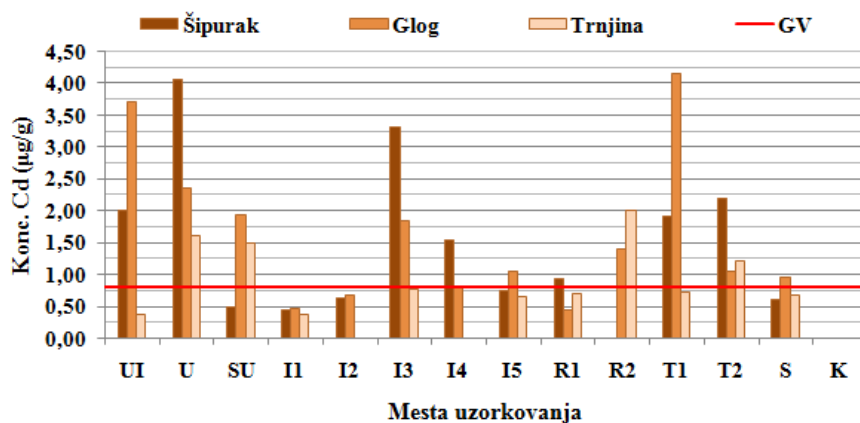
**Slika 16.** Faktor obogaćenja zemljišta As iz zone korena šipurka, gloga i trnjine prema mestima uzorkovanja

### 6.2.3. Kadmijum u zemljištu iz zone korena ispitivanih biljnih vrsta

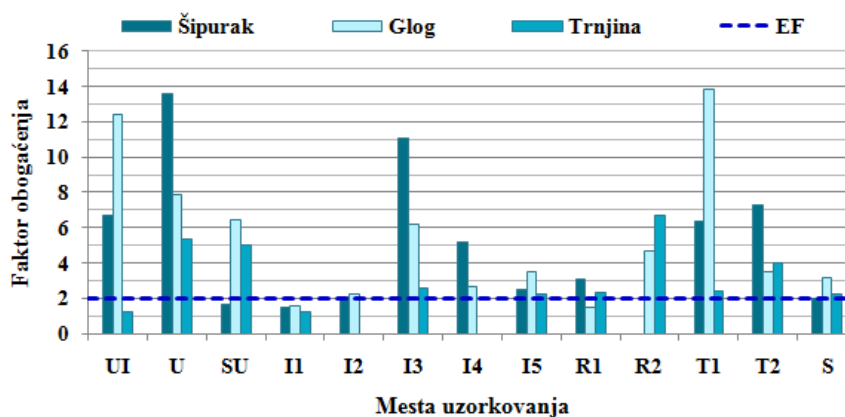
Koncentracije Cd u zemljištu iz zone korena šipurka, gloga i trnjine date su na slici 17. U uzorcima zemljišta iz kontrolne zone, koncentracija kadmijuma je bila ispod granice određivanja za sve tri biljne vrste, kao i u zemljištu iz zone korena šipurka sa mesta R2 i zemljištu trnjine sa mesta I2 i I4. Prekoračenja propisane GV za Cd, koja iznosi  $0,8 \mu\text{g/g}$  (Uredba br. 88/10), nije bilo u više uzoraka zemljišta ispitivanih biljnih vrsta iz industrijske, saobraćajne i kontrolne zone, ali i u pojedinim uzorcima zemljišta iz suburbane, ruralne, urbano-industrijske i turističke zone. U uzorcima zemljišta u kojima nije bilo prekoračenja GV, sadržaj Cd je bio približan ili nešto viši od svetskog proseka koji iznosi  $0,41 \mu\text{g/g}$  (Kabata-Pendias, 2011). Međutim, koncentracije Cd koje su značajno prelazile GV zabeležene su u zemljištu uzorkovanom na mestima iz urbane, urbano-industrijske, suburbane, industrijske, ruralne i turističke zone, za neku od

ispitivanih biljnih vrsta. Prekoračenja RV nije bilo, ali s obzirom na koncentracije Cd koje su u većem broju uzoraka bile iznad GV, može se smatrati da je prisustvo Cd u zemljištu u ispitivanoj oblasti antropogenog porekla. Upoređujući prema biljnim vrstama, ne postoji pravilnost usvajanja većih koncentracija Cd u zemljištu iz zone korena jedne biljne vrste.

Obogaćenje zemljišta kadmijumom (slika 18), nije zabeleženo u nekoliko uzoraka, i to u zemljištu iz zone korena šipurka na mestima UI, I1 i S, gloga na mestima I1 i R1 i u zemljištu trnjine na mestima UI i I1. Međutim, najveći broj uzoraka zemljišta pripada kategoriji umerenog obogaćenja kadmijumom, dok su uzorci zemljišta iz zone korena šipurka sa mesta UI, U, I3 i I4, zemljišta gloga sa mesta UI, U, SU, I3 i T1 i zemljišta trnjine sa mesta R2, značajno obogaćeni kadmijumom.



**Slika 17.** Koncentracija Cd ( $\mu\text{g/g}$ ) u zemljištu iz zone korena šipurka, gloga i trnjine prema mestima uzorkovanja

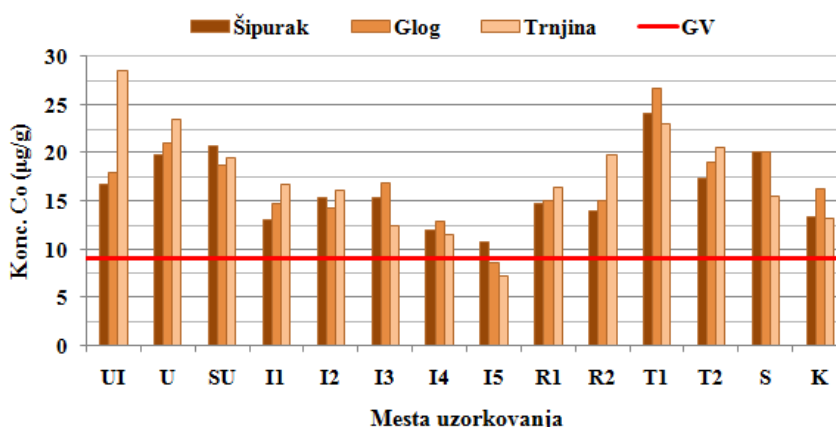


**Slika 18.** Faktor obogaćenja zemljišta Cd iz zone korena šipurka, gloga i trnjine prema mestima uzorkovanja

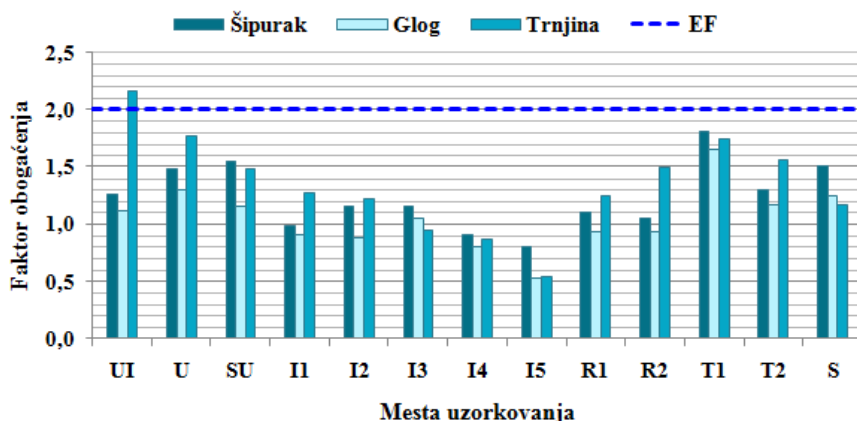
#### 6.2.4. Kobalt u zemljištu iz zone korena ispitivanih biljnih vrsta

Koncentracije Co u zemljištu iz zone korena šipurka, gloga i trnjine (slika 19), prelazile su GV, koja iznosi 9  $\mu\text{g/g}$  (Uredba br. 88/10) na svim mestima uzorkovanja, osim na mestu I5 u zemljištu gloga i trnjine. Prekoračenja RV nije bilo na ispitivanom području. Sadržaj Co u zemljištu iz kontrolne zone je takođe bio iznad propisane granične vrednosti, ali i iznad svetskog proseka koji iznosi 11,3  $\mu\text{g/g}$ . Sadržaj Co zavisi od procesa formiranja zemljišta i razlikuje se u zemljištima iz različitih klimatskih pojaseva (Kabata-Pendias, 2011). Ipak, nešto veće koncentracije Co zabeležene su u zemljištima sa mesta uzorkovanja UI, U, SU i T1 koja su pod većim uticajem zagađenja iz rudarsko-metalurškog kompleksa. Najniže koncentracije Co bile su u zemljištu iz okoline kamenoloma (I5), koji očigledno nije značajan antropogeni izvor ovog metala na ispitivanom području. Poredeći koncentracije Co u zemljištima prema biljnim vrstama može se reći da ne postoji pravilnost usvajanja Co u zemljištu određene biljne vrste.

Obogaćenje kobaltom (slika 20), zabeleženo je jedino u uzorku zemljišta trnjine sa mesta uzorkovanja UI koje je u blizini industrijskog kompleksa. U svim ostalim uzorcima zemljišta nije bilo obogaćenja, iako su koncentracije bile iznad GV, što potvrđuje da je prisustvo Co u ispitivanoj oblasti uglavnom prirodnog porekla, sa minimalnim uticajem antropogenog zagađenja.



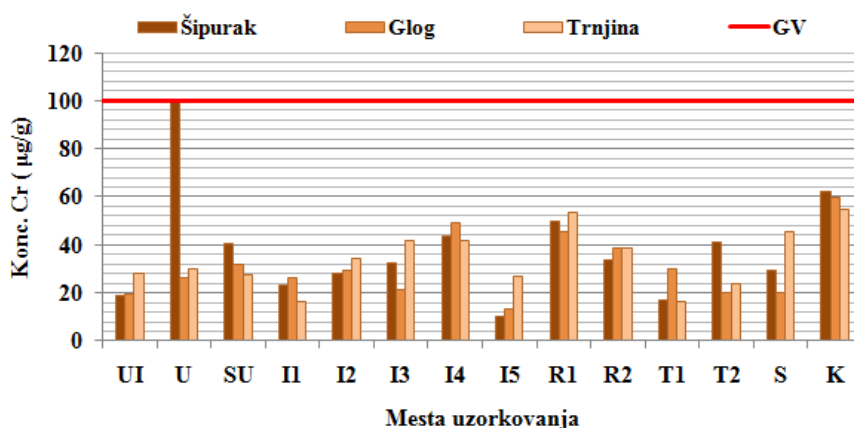
**Slika 19.** Koncentracija Co ( $\mu\text{g/g}$ ) u zemljištu iz zone korena šipurka, gloga i trnjine prema mestima uzorkovanja



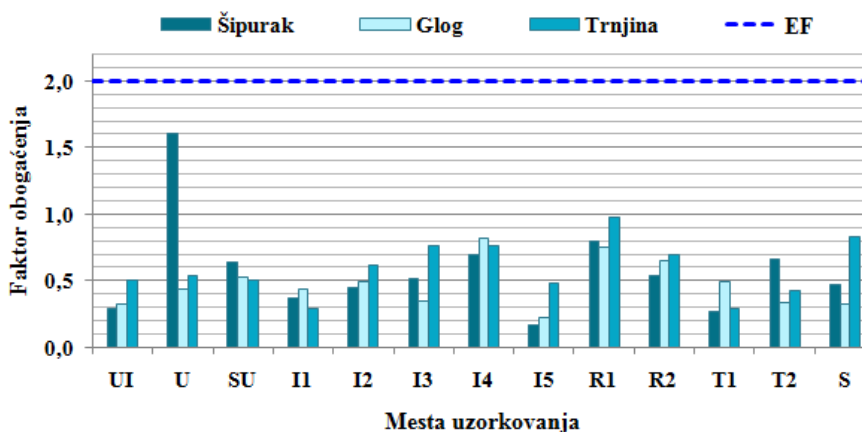
**Slika 20.** Faktor obogaćenja zemljišta Co iz zone korena šipurka, gloga i trnjine prema mestima uzorkovanja

#### 6.2.5. Hrom u zemljištu iz zone korena ispitivanih biljnih vrsta

Koncentracije Cr u zemljištu iz zone korena šipurka, gloga i trnjine sa ispitivanog područja (slika 21) nisu prelazile GV, koja prema [Uredba br. 88/10](#) iznosi 100 µg/g. Jedino je koncentracija Cr u zemljištu iz zone korena šipurka na mestu UI bila približna graničnoj vrednosti i iznosila je 100,45 µg/g. U poređenju sa svetskim prosekom sadržaja Cr u zemljištu od 59,5 µg/g ([Kabata-Pendias, 2011](#)), prosečne koncentracije Cr u ispitivanoj oblasti bile su dvostruko niže. Koncentracije Cr u zemljištu iz zone korena šipurka, gloga i trnjine u kontrolnoj zoni bile su veće u odnosu na vrednosti u zemljištu iz zona koje su pod uticajem zagađenja iz industrijskog kompleksa, što ukazuje da je prisustvo Cr u zemljištu iz ispitivane oblasti prirodnog porekla. Takođe, nije bilo obogaćenja hromom ni na jednom mestu uzorkovanja (slika 22), na osnovu čega se može zaključiti da je njegovo poreklo prirodno u zemljištu iz zone korena šipurka, gloga i trnjine u Boru i okolini.



Slika 21. Koncentracija Cr ( $\mu\text{g/g}$ ) u zemljištu iz zone korena šipurka, gloga i trnjine prema mestima uzorkovanja



Slika 22. Faktor obogaćenja zemljišta Cr iz zone korena šipurka, gloga i trnjine prema mestima uzorkovanja

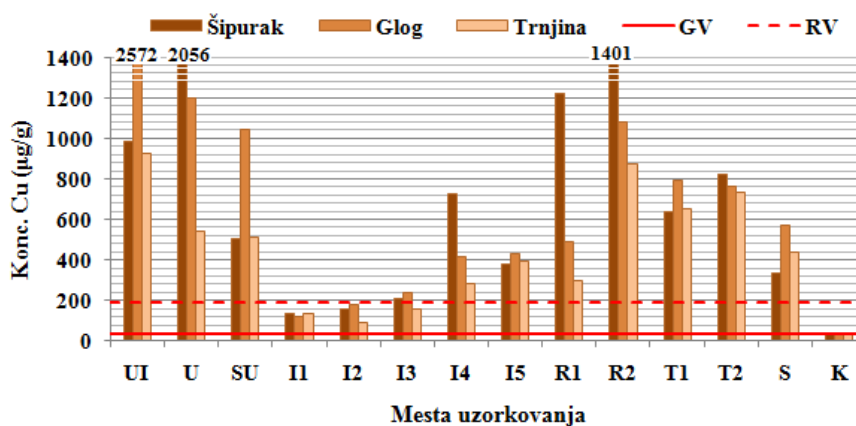
### 6.2.6. Bakar u zemljištu iz zone korena ispitivanih biljnih vrsta

Granična vrednost za koncentraciju Cu u zemljištu iznosi  $36 \mu\text{g/g}$ , a remedijaciona  $190 \mu\text{g/g}$  (Uredba br. 88/10), dok je svetski prosek bakra u zemljištu  $38,9 \mu\text{g/g}$  (Kabata-Pendias, 2011). Koncentracije Cu u zemljištu iz zone korena šipurka, gloga i trnjine bile su višestruko iznad svetskog proseka, što je i očekivano zbog nalazišta ruda bakra na ispitivanom području (slika 23). U zemljištu iz zone korena ispitivanih biljnih vrsta na ispitivanom području, jedino nije bilo prekoračenja GV u kontrolnoj zoni, dok su koncentracije Cu u zemljištu sve tri biljne vrste bile iznad GV

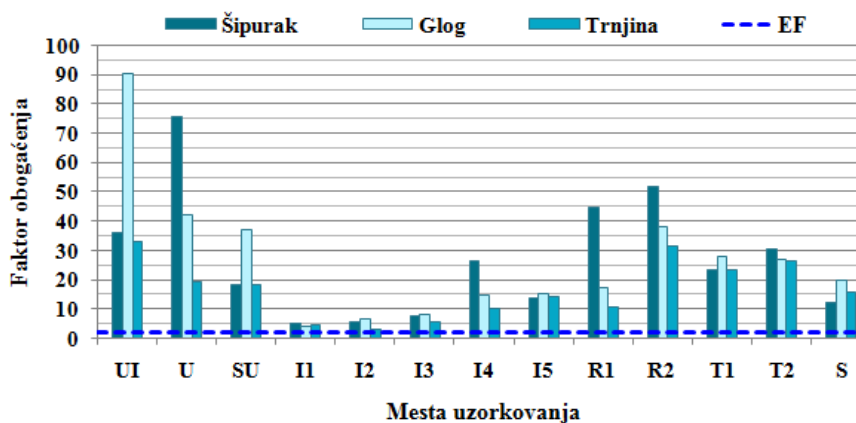
na mestu uzorkovanja I2, zemljištu šipurka i trnjine na mestu I1 i zemljištu trnjine na mestu I3. Na svim ostalim mestima uzorkovanja, koncentracije Cu bile su izuzetno visoke i višestruko su prelazile RV, na osnovu čega se može zaključiti da je zemljište sa ispitivanog područja značajno zagađeno. Naročito visoke koncentracije Cu zabeležene su u zemljištu iz urbano-industrijske, urbane, suburbane, ruralne i turističke zone koje su pod direktnim uticajem industrijskog zagađenja. Poredeći koncentracije Cu u zemljištu šipurka, gloga i trnjine zaključuje se da ne postoji pravilnost većeg usvajanja Cu u zemljištu određene biljne vrste.

Na osnovu dobijenih vrednosti faktora obogaćenja zemljišta bakrom, može se zaključiti se da je zemljište sa ispitivanog područja umereno do ekstremno obogaćeno ovim elementom (slika 24). Umereno obogaćena zemljišta su na mestima uzorkovanja I1 iz zone korena sve tri biljne vrste i na mestu I2 iz zone korena trnjine. Najveći broj uzoraka zemljišta sve tri biljne vrste spadaju u značajno i veoma visoko obogaćena zemljišta bakrom. Uzorci zemljišta iz zone korena šipurka sa mesta S, SU, I2, I3, I5, zemljišta gloga sa mesta S, I2, I3, I4 i I5 i zemljišta trnjine sa mesta S, U, SU, I3, I4, I5, i R1 bili su značajno obogaćeni bakrom. Uzorci zemljišta šipurka sa mesta UI, I4, T1 i T2, zemljišta gloga sa mesta SU, R2, T1, T2 i zemljišta trnjine sa mesta UI, R2, T1 i T2 bili su veoma visoko obogaćeni bakrom. Ekstremne vrednosti faktora obogaćenja (>40) zabeležene su u uzorcima zemljišta šipurka sa U, R1 i R2 mesta i u zemljištu gloga sa UI i U mesta. Na osnovu koncentracija Cu u zemljištu šipurka, gloga i trnjine, kao i na osnovu faktora obogaćenja, koje su bile najveće na mestima najbližim primarnom izvoru zagađenja (UI, U i SU), i na mestima koja su na pravcima dominantnih vetrova (R1, R2 T1 i T2) može se zaključiti da je prisustvo Cu u zemljištu sa ispitivanog područja poreklom iz rudarsko-metalurške proizvodnje. Nešto niže koncentracije Cu u zemljištu zabeležene su u uzorcima iz okoline odlagališta raskrivke sa površinskih kopova (I1, I2 i I3), dok je obogaćenje zemljišta na ovim mestima bilo uglavnom umereno. Ovakvo zapažanje ukazuje da, iako se ispitivano područje nalazi u oblasti prirodno bogatom bakrom, procesi iskopavanja rude imaju manji uticaj na koncentraciju bakra u površinskom sloju zemljišta u odnosu na procese topljenja i prerade rude, čime se potvrđuje antropogeno poreklo bakra u zemljištu iz zone korena ispitivanih biljnih vrsta.





Slika 23. Koncentracija Cu ( $\mu\text{g/g}$ ) u zemljištu iz zone korena šipurka, gloga i trnjine prema mestima uzorkovanja



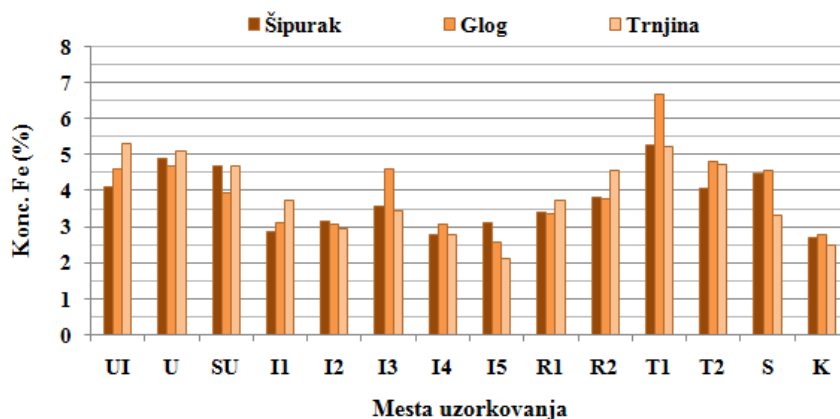
Slika 24. Faktor obogaćenja zemljišta Cu iz zone korena šipurka, gloga i trnjine prema mestima uzorkovanja

### 6.2.7. Gvožđe u zemljištu iz zone korena ispitivanih biljnih vrsta

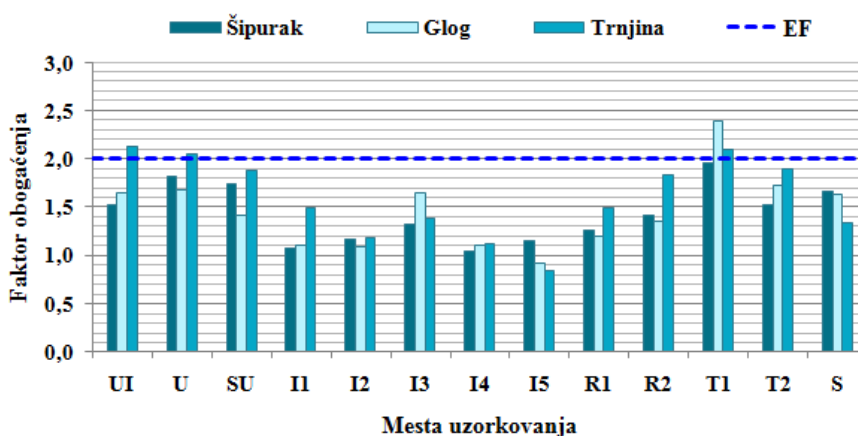
Granična i remedijaciona vrednost za Fe u zemljištu nisu definisane [Uredbom br. 88/10](#). Koncentracije Fe u zemljištu iz zone korena šipurka, gloga i trnjine (slika 25) bile su približne ili nešto više od svetskog proseka koji iznosi 3,5%. Sadžaj Fe u velikoj meri zavisi od prirodnog sastava zemljišta ([Kabata-Pendias, 2011](#)). Upoređujući koncentracije Fe u zemljištu iz zone korena sve tri ispitivane biljne vrste, najveće koncentracije su zabeležene u zemljištu sa T1, UI, U, SU ali i S mesta uzorkovanja, dok su najmanje vrednosti zabeležene na kontrolnom mestu (K) i u oblasti kamenoloma (I5).

Upoređujući biljne vrste, ne postoji pravilnost usvajanja većih koncentracija Fe u zemljištu određene biljne vrste.

Vrednosti faktora obogaćenja (slika 26) koje su ukazivale na umereno obogaćenje zemljišta gvoždem zabeležene su u zemljištu iz zone korena gloga na mestu uzorkovanja T1 i zemljištu trnjine na mestima UI, U i T1. Na osnovu dobijenih koncentracija Fe kao i vrednosti faktora obogaćenja, može se reći da je prisustvo Fe na ispitivanom području prirodnog porekla ali da postoji i antropogeni uticaj koji se primećuje na mestima koja su u blizini industrijskog kompleksa i na pravcu dominantnog vetra (UI, U i T1).



Slika 25. Koncentracija Fe (%) u zemljištu iz zone korena šipurka, gloga i trnjine prema mestima uzorkovanja

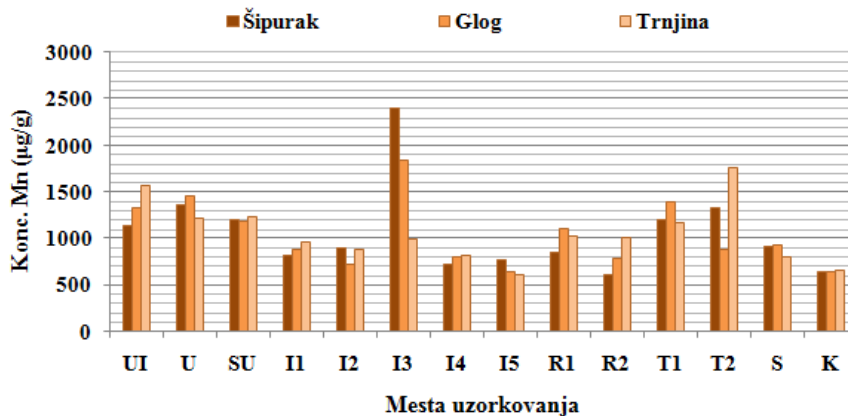


Slika 26. Faktor obogaćenja zemljišta Fe iz zone korena šipurka, gloga i trnjine prema mestima uzorkovanja

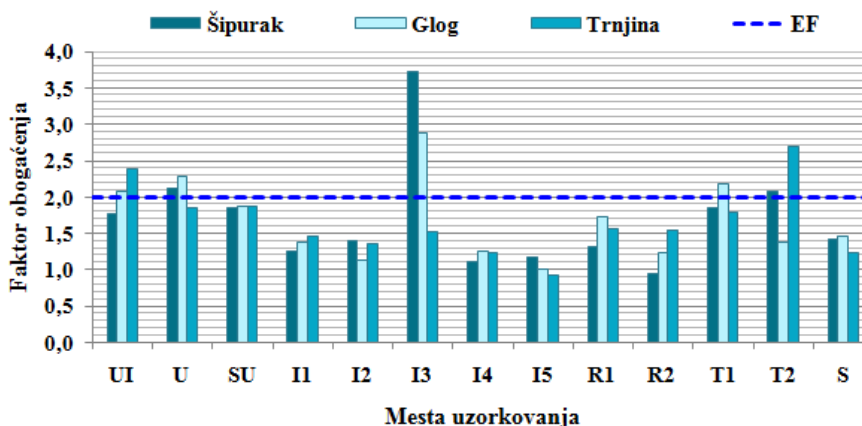
### 6.2.8. Mangan u zemljištu iz zone korena ispitivanih biljnih vrsta

Granična i remedijaciona vrednost za Mn u zemljištu nisu definisane Uredbom br. 88/10. Koncentracije Mn u zemljištu sa ispitivanog područja bile su veće od svetskog proseka, koji se kretao od 411 do 550  $\mu\text{g/g}$  (Kabata-Pendias, 2011). Najveće koncentracije Mn zabeležene su u zemljištu iz zone korena šipurka i gloga sa mesta I3 koje se nalazi u okolini kriveljskog odlagališta raskrivke, i u zemljištu trnjine sa mesta T2. Najniže vrednosti zabeležene na mestu R2 u zemljištu šipurka, mestu K u zemljištu gloga i mestu I5 u zemljištu trnjine (slika 27).

Umereno obogaćenje manganom (slika 28), zabeleženo je u zemljištu šipurka na mestima uzorkovanja U, I3 i T2, u zemljištu gloga na mestima U, I3 i T1 i u zemljištu trnjine na mestima UI i T2. Na osnovu maksimalnih i minimalnih koncentracija Mn, kao i vrednosti faktora obogaćenja, smatra se da osim prirodnog porekla, na veće koncentracije Mn u zemljištu na određenim mestima, malog udela imaju procesi proizvodnje bakra.



**Slika 27.** Koncentracija Mn ( $\mu\text{g/g}$ ) u zemljištu iz zone korena šipurka, gloga i trnjine prema mestima uzorkovanja

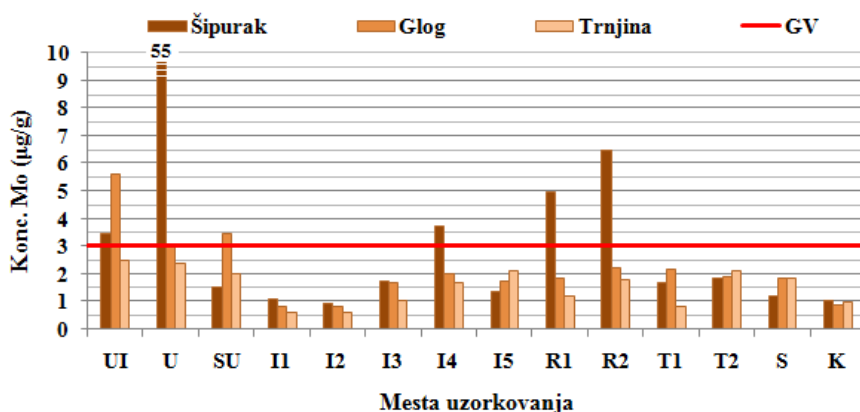


**Slika 28.** Faktor obogaćenja zemljišta Mn iz zone korena šipurka, gloga i trnjine prema mestima uzorkovanja

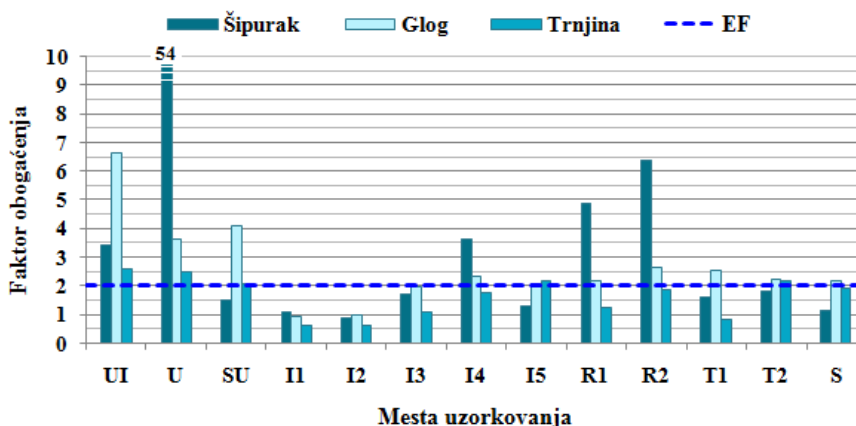
### 6.2.9. Molibden u zemljištu iz zone korena ispitivanih biljnih vrsta

Prosečna vrednost Mo u zemljištu u svetu iznosi oko 1,1  $\mu\text{g/g}$  (Kabata-Pendias, 2011). Prema Uredbi br. 88/10 granična vrednost za koncentraciju Mo u zemljištu iznosi 3  $\mu\text{g/g}$ , dok je remedijaciona vrednost 200  $\mu\text{g/g}$ . Na slici 29, mogu se videti prekoračenja GV zabeležena u zemljištu iz zone korena šipurka na mestima uzorkovanja UI, U, I4, R1 i R2 i u zemljištu gloga na mestima UI, U i SU. Navedena mesta su pod najvećim uticajem industrijskog zagađenja. Maksimalna koncentracija Mo zabeležena je u zemljištu šipurka sa U mesta, koja je iznosila oko 55  $\mu\text{g/g}$ . Prekoračenja RV nije bilo ni u jednom uzorku zemljišta.

Prema vrednostima faktora obogaćenja (slika 30), zemljište iz zone korena ispitivanih biljnih vrsta, bilo je u kategoriji zemljišta koje nije obogaćeno molibdenom ili je umereno obogaćeno. Značajno obogaćenje zabeleženo je u uzorcima zemljišta iz zone korena šipurka sa mesta R2 i gloga sa mesta UI, a ekstremno obogaćenje zemljišta bilo je u uzorku zemljišta šipurka sa mestu U. Ova mesta uzorkovanja su u blizini rudarsko-metalurškog kompleksa i na pravcu dominantnih vetrova, što ukazuje da na prisustvo Mo u zemljištu imaju uticaja emisije iz topionice i procesa proizvodnje bakra.



**Slika 29.** Koncentracija Mo ( $\mu\text{g/g}$ ) u zemljištu iz zone korena šipurka, gloga i trnjine prema mestima uzorkovanja



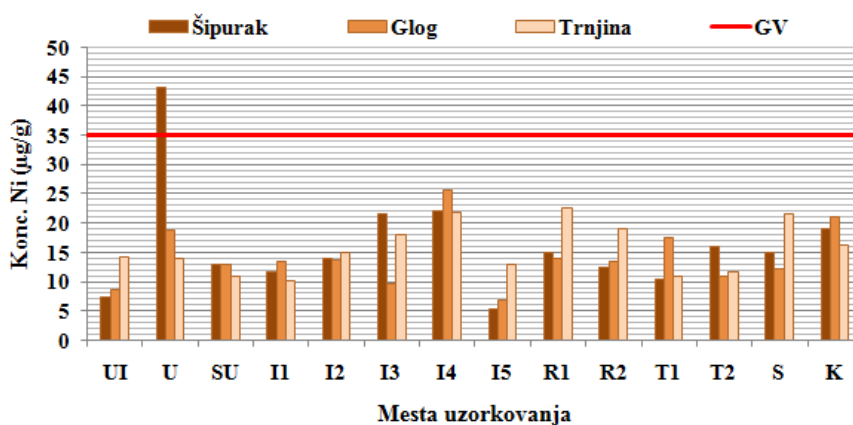
**Slika 30.** Faktor obogaćenja zemljišta Mo iz zone korena šipurka, gloga i trnjine prema mestima uzorkovanja

#### 6.2.10. Nikl u zemljištu iz zone korena ispitivanih biljnih vrsta

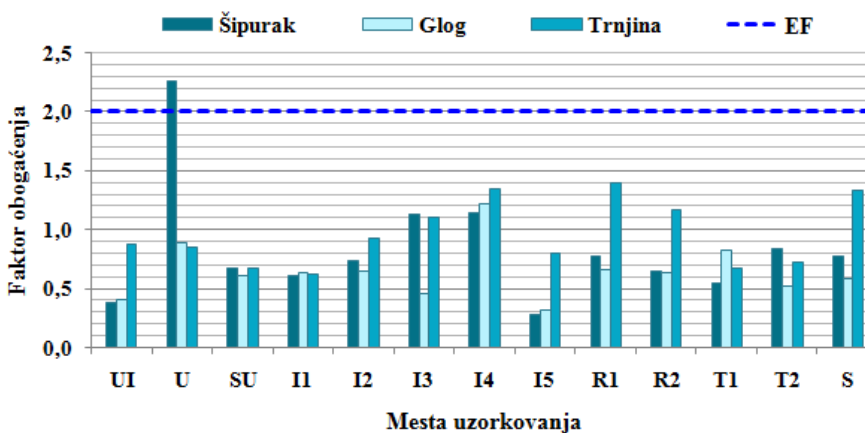
Prosečne koncentracije Ni u zemljištu iz zone korena šipurka, gloga i trnjine na ispitivanom području bile su ispod svetskog proseka koji iznosi  $29 \mu\text{g/g}$  (Kabata-Pendias, 2011). Granična vrednost u iznosu od  $35 \mu\text{g/g}$  prema Uredbi br. 88/10 prekoračena je jedino na mestu uzorkovanja U, u zemljištu iz zone korena šipurka (slika 31). Postoji mogućnost da je koncentracija Ni na ovom mestu povećana zbog antropogenog uticaja iz industrijskog kompleksa u blizini kojeg se mesto uzorkovanja U nalazi. Međutim, upoređivanjem koncentracija Ni u zemljištu sve tri biljne vrste,

zaključuje se da u zemljištu sa kontrolnog mesta K koncentracije nisu najniže. Na ovakvu raspodelu koncentracija Ni u zemljištu može imati uticaj sastav zemljišta i stena, što može ukazivati na prirodno poreklo Ni u kontrolnoj zoni. Najniže koncentracije Ni zabeležene su u zemljištu iz zone korena šipurka i gloga na mestu I5, koje je u okolini kamenoloma i zemljištu trnjine na mestu I1, koje je u okolini površinskog kopa Cerovo.

Vrednosti faktora obogaćenja zemljišta niklom (slika 32) koje su bile  $<2$ , takođe ukazuju na prirodno poreklo Ni u zemljištu sa ispitivanog područja. Jedino je u uzorku zemljišta iz zone korena šipurka sa mesta U, obogaćenje niklom bilo umereno, pa se može smatrati da je antropogeni uticaj doprineo većim koncentracijama Ni na ovom mestu, koje je jedno od najbližih primarnom izvoru zagađenja.



Slika 31. Koncentracija Ni ( $\mu\text{g/g}$ ) u zemljištu iz zone korena šipurka, gloga i trnjine prema mestima uzorkovanja

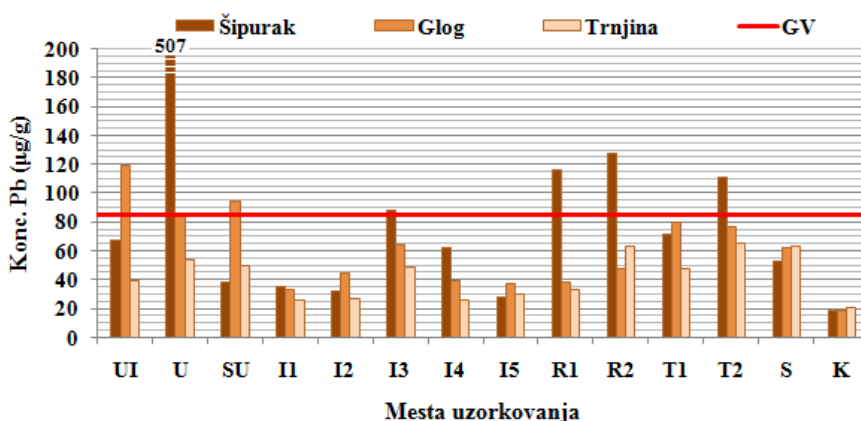


Slika 32. Faktor obogaćenja zemljišta Ni iz zone korena šipurka, gloga i trnjine prema mestima uzorkovanja

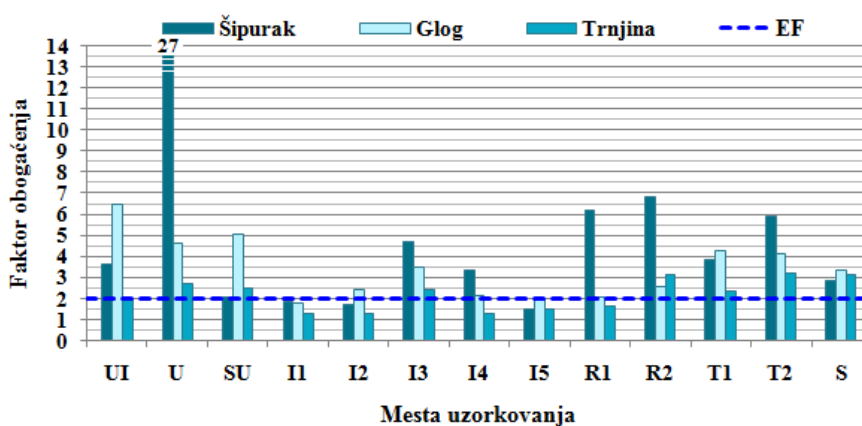
### 6.2.11. Olovo u zemljištu iz zone korena ispitivanih biljnih vrsta

Koncentracije Pb u zemljištu iz zone korena šipurka, gloga i trnjine bile su nekoliko puta više od svetskog proseka koji iznosi 27  $\mu\text{g/g}$  (Kabata-Pendias, 2011). Prema Uredbi br. 88/10, granična vrednost Pb u zemljištu iznosi 85  $\mu\text{g/g}$ , a remedijaciona vrednost 530  $\mu\text{g/g}$ . Prekoračenja GV su evidentirana u zemljištu iz zone korena šipurka na mestima uzorkovanja U, I3, R1, R2 i T2 i zemljištu gloga na mestima UI, U i SU, dok prekoračenja RV nije bilo (slika 33).

Prema vrednostima faktora obogaćenja (slika 34), zemljište iz zone korena šipurka, kretalo se od kategorije neobogaćenog (I1, I2, I5), umereno obogaćenog (UI, SU, I3, I4, T1 i S), značajno obogaćenog (R1, R2, T2) i vrlo visoko obogaćenog zemljišta na mestu U. Zemljište iz zone korena gloga nije bilo obogaćeno olovom na mestima I1 i I5, umereno obogaćeno je bilo na mestima U, I2, I3, I4, R1, R2, T1, T2 i S i značajno obogaćeno na mestima UI i SU. Zemljište iz zone korena trnjine bilo je u kategorijama neobogaćenog (UI, I1, I2, I4, I5 i R1) i umereno obogaćenog zemljišta (U, SU, I3, R2, T1, T2 i S). Prekoračenja GV, kao i vrednosti faktora obogaćenja zemljišta, ukazuju da je Pb u zemljištu na većini mesta uzorkovanja poreklom iz rudarsko-metalurške proizvodnje, dok je u zoni saobraćaja na obogaćenje zemljišta olovom uticaja imala i dugogodišnja upotreba goriva koje je sadržalo Pb.



**Slika 33.** Koncentracija Pb ( $\mu\text{g/g}$ ) u zemljištu iz zone korena šipurka, gloga i trnjine prema mestima uzorkovanja



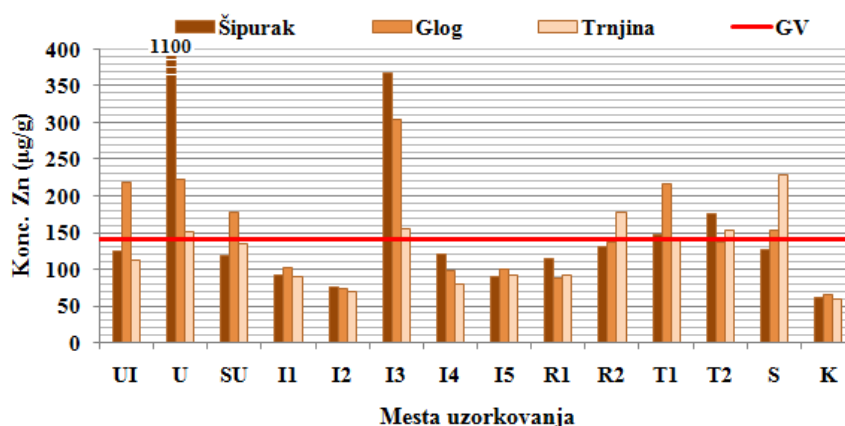
**Slika 34.** Faktor obogaćenja zemljišta Pb iz zone korena šipurka, gloga i trnjine prema mestima uzorkovanja

#### 6.2.12. Cink u zemljištu iz zone korena ispitivanih biljnih vrsta

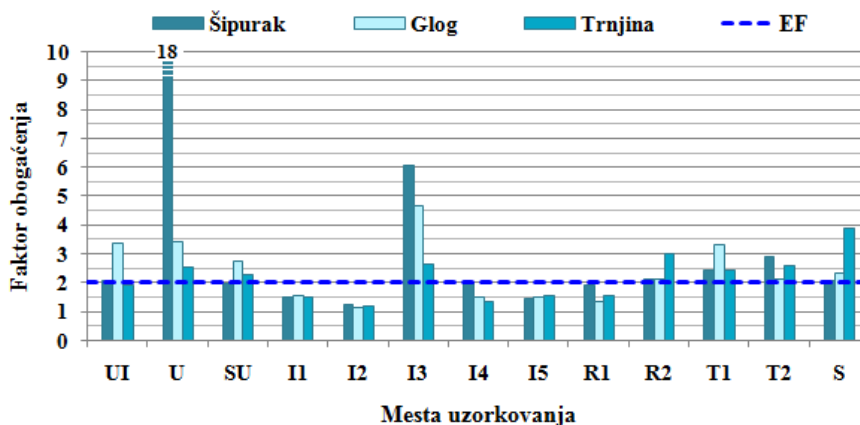
Prosečna koncentracija Zn u zemljištu u svetu iznosi 70  $\mu\text{g/g}$  (Kabata-Pendias, 2011). Granična vrednost Zn u zemljištu iznosi 140  $\mu\text{g/g}$ , a remedijaciona 720  $\mu\text{g/g}$  (Uredba br. 88/10). Na ispitivanom području, koncentracije Zn u većini uzoraka zemljišta su bile iznad svetskog proseka. Prekoračenja GV, koja su data na slici 35, zabeležena su u zemljištu iz zone korena šipurka na tri mesta uzorkovanja (I3, T1, T2), zemljištu gloga na 6 mesta uzorkovanja (UI, U, SU, I3, T1, S) i zemljištu trnjine na 6 mesta uzorkovanja (U, I3, R2, T1, T2, S). Ekstremno visoka koncentracija Zn od 1100  $\mu\text{g/g}$ , koja je bila i iznad RV, zabeležena je na mestu U u zemljištu iz zone korena šipurka.

Obogaćenje zemljišta cinkom prikazano je na slici 36. Faktor obogaćenja zemljišta iz zone korena šipurka ukazivao je na značajno obogaćenje cinkom na mestima U i I3 i na umereno obogaćenje na mestima UI, R2, T1, T2 i S. Umereno obogaćeno bilo je i zemljište iz zone korena gloga na mestima UI, U, SU, I3, R2, T1, T2 i S, kao i zemljište trnjine na mestima U, SU, I3, R2, T1, T2 i S. Na osnovu koncentracija cinka u zemljištu iz zone korena ispitivanih biljnih vrsta, ali i vrednosti faktora obogaćenja, može se zaključiti da je poreklo ovog elementa na ispitivanom području antropogeno.





Slika 35. Koncentracija Zn ( $\mu\text{g/g}$ ) u zemljištu iz zone korena šipurka, gloga i trnjine prema mestima uzorkovanja



Slika 36. Faktor obogaćenja zemljišta Zn iz zone korena šipurka, gloga i trnjine prema mestima uzorkovanja

### 6.2.13. Analiza korelacija između koncentracija elemenata u zemljištu i parametara zemljišta na ispitivanom području

U tabelama 16, 17 i 18, dati su Spirmanovi koeficijenti korelacija između koncentracija elemenata u zemljištu iz zone korena šipurka, gloga i trnjine sa aktivnom i potencijalnom kiselošću zemljišta, kao i sadržajem organskih materija na ispitivanom području. Na osnovu dobijenih korelacija, koje su bile veoma slabe i nisu bile statistički značajne, može se zaključiti da pH vrednost zemljišta nema veliki uticaj na koncentraciju elemenata na ispitivanom području. Međutim, zabeleženo je nekoliko

značajnih korelacija srednje jačine između organskih materija i koncentracija nekih elemenata u zemljištu šipurka (Cd, Cr, Mo, Ni, Pb, Zn) i gloga (Co i Fe). Ipak, na osnovu malog broja korelacija, kao i Spirmanovih koeficijenata koji nisu imali visoke vrednosti, ne može se sa sigurnošću tvrditi kolikog uticaja ima sadržaj OM u zemljištu na koncentracije elemenata. S obzirom, da je utvrđeno da antropogene aktivnosti imaju velikog uticaja na koncentracije elemenata u zemljištu, veći sadržaj OM može predstavljati prednost zbog njihovog zadržavanja.

**Tabela 16.** Spirmanovi koeficijenti korelacije ( $\rho$ ) između koncentracija elemenata i pH(H<sub>2</sub>O), pH(KCl) i OM u zemljištu iz zone korena šipurka na ispitivanom području

	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Mo	Ni	Pb	Zn
<b>pH(H<sub>2</sub>O)</b>	0,204	-0,389	0,378	0,077	-0,068	-0,059	0,134	0,354	0,002	0,297	-0,081	0,305
<b>pH(KCl)</b>	0,156	-0,310	0,462	-0,002	-0,055	-0,020	0,090	0,358	0,073	0,279	-0,042	0,310
<b>OM</b>	0,182	0,200	<b>0,636*</b>	0,222	<b>0,600*</b>	0,442	0,240	0,319	<b>0,587*</b>	<b>0,763**</b>	<b>0,692**</b>	<b>0,705**</b>

Naglašene vrednosti označavaju statistički značajne korelacije.

\*\*  $p < 0,01$  (dvostrano);

\*  $p < 0,05$  (dvostrano).

**Tabela 17.** Spirmanovi koeficijenti korelacije ( $\rho$ ) između koncentracija elemenata i pH(H<sub>2</sub>O), pH(KCl) i OM u zemljištu iz zone korena gloga sa ispitivanog područja

	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Mo	Ni	Pb	Zn
<b>pH(H<sub>2</sub>O)</b>	-0,116	-0,442	-0,154	-0,059	-0,209	-0,099	-0,174	0,081	-0,042	-0,138	-0,165	-0,011
<b>pH(KCl)</b>	-0,218	-0,446	-0,214	-0,073	-0,125	-0,138	-0,182	0,059	-0,077	-0,090	-0,204	-0,068
<b>OM</b>	0,380	0,297	0,346	<b>0,613*</b>	-0,169	0,451	<b>0,613*</b>	0,284	0,363	-0,301	0,459	0,442

Naglašene vrednosti označavaju statistički značajne korelacije.

\*\*  $p < 0,01$  (dvostrano);

\*  $p < 0,05$  (dvostrano).

**Tabela 18.** Spirmanovi koeficijenti korelacije ( $\rho$ ) između koncentracija elemenata i pH(H<sub>2</sub>O), pH(KCl) i OM u zemljištu iz zone korena trnjine sa ispitivanog područja

	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Mo	Ni	Pb	Zn
<b>pH(H<sub>2</sub>O)</b>	-0,048	-0,150	0,159	-0,502	0,317	0,031	-0,396	-0,510	0,042	0,414	0,220	0,387
<b>pH(KCl)</b>	-0,130	-0,116	0,027	<b>-0,600*</b>	0,332	-0,033	-0,424	-0,486	0,116	0,446	0,042	0,218
<b>OM</b>	0,385	0,266	-0,145	0,231	-0,169	0,380	0,376	0,288	0,341	-0,204	0,332	0,429

Naglašene vrednosti označavaju statistički značajne korelacije.

\*\*  $p < 0,01$  (dvostrano);

\*  $p < 0,05$  (dvostrano).

#### 6.2.14. Analiza korelacija između koncentracija elemenata u zemljištu iz zone korena šipurka, gloga i trnjine na ispitivanom području

Spirmanovi koeficijenti korelacija između elemenata u zemljištu iz zone korena šipurka, gloga i trnjine dati su u tabelama 19, 20 i 21. Statistički značajne pozitivne korelacije koje su dobijene između koncentracija elemenata u zemljištu ispitivanih biljnih vrsta, ukazivale su na zajedničko poreklo tih elemenata koji su bili prirodno prisutni u zemljištu (npr. Al, Cr i delimično Co, Ni, Fe, Mn) i/ili iz antropogenih izvora, tj. rudarsko-metalurške proizvodnje (As, Cd, Cu, Fe, Mn, Mo, Pb, Zn). Najjače pozitivne korelacije ( $>0,8$ ) u zemljištu iz zone korena šipurka (tabela 19) dobijene su za parove elemenata: As-Cu, Cu-Mo, Cu-Pb, Pb-Mo i Pb-Zn čije je poreklo isključivo antropogeno, ali i između Fe-Co i Cr-Ni čije je poreklo uglavnom prirodno, pri čemu antropogene aktivnosti u manjoj meri mogu doprineti količini ovih elemenata u zemljištu na ispitivanom području. U zemljištu iz zone korena gloga (tabela 20) najjače pozitivne korelacije ( $>0,8$ ), bile su između parova elemenata: Cd-Pb, Cd-Zn, Cu-Mo, Cu-Pb, Mn-Zn i Pb-Zn, čije je poreklo bilo antropogeno, kao i između Fe-Co i Cr-Ni. Najjače pozitivne korelacije ( $>0,8$ ) u zemljištu iz zone korena trnjine (tabela 21) koje su ukazivale na antropogeno poreklo elemenata, dobijene su za parove As-Cu i Pb-Zn, dok prirodno poreklo, kao i delimičan antropogeni uticaj je zabeležen na osnovu korelacija Fe-Co, Fe-Mn, Mn-Co i Cr-Ni. Primećuje se da su u zemljištu iz zone korena trnjine ostvarene nešto drugačije korelacije između elemenata nego u zemljištu šipurka i gloga, koje su bile sličnije, na šta može imati uticaj i sama biljka i njene sposobnosti usvajanja elemenata iz zemljišta. Takođe, veoma jake korelacije u zemljištu trnjine su ostvarene između Al sa Cu i Fe. Aluminijum je jedan od najzastupljenijih elemenata u zemljinoj kori (USEPA, 2003; Kabata-Pendias, 2011), a u zemljištu sa ispitivanog područja je bio prisutan čak i iznad svetskih prosečnih vrednosti. Kako je sadržaj sva tri elementa u zemljištu bio izuzetno visok, postoji mogućnost da su zbog toga i ostvarene jake pozitivne korelacije između Al sa Cu i Fe.

**Tabela 19.** Spirmanovi koeficijenti korelacija između koncentracija elemenata u zemljištu šipurka na ispitivanom području

	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Mo	Ni	Pb	Zn
Al	1,000											
As	0,002	1,000										
Cd	0,294	0,413	1,000									
Co	<b>0,613*</b>	0,134	0,119	1,000								
Cr	-0,349	0,081	0,322	-0,007	1,000							
Cu	0,029	<b>0,820**</b>	<b>0,601*</b>	0,226	0,297	1,000						
Fe	<b>0,596*</b>	0,341	0,322	<b>0,903**</b>	-0,099	0,499	1,000					
Mn	<b>0,648*</b>	0,033	<b>0,587*</b>	<b>0,719**</b>	0,020	0,156	<b>0,684**</b>	1,000				
Mo	0,059	<b>0,749**</b>	<b>0,727**</b>	0,068	0,411	<b>0,930**</b>	0,349	0,160	1,000			
Ni	-0,055	-0,248	0,455	0,037	<b>0,820**</b>	0,059	-0,099	0,244	0,253	1,000		
Pb	0,279	<b>0,662**</b>	<b>0,769**</b>	0,327	0,363	<b>0,833**</b>	<b>0,534*</b>	0,389	<b>0,886**</b>	0,297	1,000	
Zn	<b>0,613*</b>	0,341	<b>0,769**</b>	0,521	0,143	<b>0,569*</b>	<b>0,692**</b>	<b>0,657*</b>	<b>0,648*</b>	0,332	<b>0,815**</b>	1,000

Naglašene vrednosti označavaju statistički značajne korelacije.

\*\*  $p < 0,01$  (dvostrano);

\*  $p < 0,05$  (dvostrano).

**Tabela 20.** Spirmanovi koeficijenti korelacija između koncentracija elemenata u zemljištu gloga na ispitivanom području

	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Mo	Ni	Pb	Zn
Al	1,000											
As	0,130	1,000										
Cd	0,500	0,495	1,000									
Co	0,495	0,275	<b>0,632*</b>	1,000								
Cr	-0,253	-0,059	-0,203	-0,143	1,000							
Cu	0,235	<b>0,798**</b>	<b>0,736**</b>	<b>0,556*</b>	-0,226	1,000						
Fe	<b>0,670**</b>	0,503	<b>0,714**</b>	<b>0,864**</b>	-0,262	<b>0,626*</b>	1,000					
Mn	<b>0,679**</b>	0,270	<b>0,588*</b>	<b>0,670**</b>	-0,218	0,490	<b>0,793**</b>	1,000				
Mo	0,200	<b>0,710**</b>	<b>0,725**</b>	0,499	-0,015	<b>0,930**</b>	<b>0,538*</b>	0,446	1,000			
Ni	-0,007	-0,073	-0,137	0,015	<b>0,846**</b>	-0,191	-0,134	-0,125	-0,024	1,000		
Pb	0,455	<b>0,613*</b>	<b>0,857**</b>	<b>0,710**</b>	-0,310	<b>0,815**</b>	<b>0,798**</b>	<b>0,714**</b>	<b>0,798**</b>	-0,262	1,000	
Zn	<b>0,705**</b>	0,327	<b>0,841**</b>	<b>0,653*</b>	-0,446	<b>0,644*</b>	<b>0,798**</b>	<b>0,851**</b>	<b>0,578*</b>	-0,367	<b>0,807**</b>	1,000

Naglašene vrednosti označavaju statistički značajne korelacije.

\*\*  $p < 0,01$  (dvostrano);

\*  $p < 0,05$  (dvostrano).

**Tabela 21.** Spirmanovi koeficijenti korelacija između koncentracija elemenata u zemljištu trnjine na ispitivanom području

	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Mo	Ni	Pb	Zn
Al	1,000											
As	<b>0,684**</b>	1,000										
Cd	0,318	0,300	1,000									
Co	<b>0,793**</b>	<b>0,684**</b>	0,264	1,000								
Cr	-0,116	<b>-0,560*</b>	0,236	-0,442	1,000							
Cu	<b>0,851**</b>	<b>0,886**</b>	0,382	<b>0,723**</b>	-0,371	1,000						
Fe	<b>0,855**</b>	<b>0,763**</b>	0,273	<b>0,947**</b>	-0,433	<b>0,771**</b>	1,000					
Mn	<b>0,719**</b>	<b>0,771**</b>	0,382	<b>0,851**</b>	-0,398	<b>0,692**</b>	<b>0,925**</b>	1,000				
Mo	0,402	<b>0,578*</b>	0,118	0,310	-0,116	<b>0,688**</b>	0,345	0,380	1,000			
Ni	0,059	-0,354	0,109	-0,407	<b>0,881**</b>	-0,174	-0,363	-0,349	-0,051	1,000		
Pb	<b>0,692**</b>	0,516	<b>0,755**</b>	0,473	-0,108	<b>0,741**</b>	<b>0,552*</b>	<b>0,565*</b>	0,516	-0,020	1,000	
Zn	<b>0,692**</b>	0,363	0,600	0,345	-0,024	<b>0,640*</b>	0,473	0,398	0,393	0,073	<b>0,921**</b>	1,000

Naglašene vrednosti označavaju statistički značajne korelacije.

\*\*  $p < 0,01$  (dvostrano);

\*  $p < 0,05$  (dvostrano).

#### 6.2.15. Statističke značajnosti razlika koncentracija elemenata u zemljištu šipurka, gloga i trnjine između kontrolnog i ostalih mesta uzorkovanja

Statistička značajnost razlika u koncentracijama elemenata u zemljištu iz zone korena šipurka, gloga i trnjine u zavisnosti od mesta uzorkovanja, potvrđena je pomoću Wilcoxon Signed-Ranks testa. Nivo značajnosti  $p \leq 0,05$  ukazuje da su razlike između koncentracija elemenata u zemljištu sa kontrolnog i ostalih mesta, bile značajne.

Statističke značajnosti razlika u koncentracijama pojedinačnih elemenata u zemljištu iz zone korena šipurka, gloga i trnjine između kontrolnog mesta uzorkovanja i svih ostalih mesta, date su u tabelama 22, 23 i 24. Značajnost razlika je potvrđena za većinu elemenata u zemljištu. Koncentracije Cd u zemljištu sa kontrolnog mesta iz zone korena sve tri biljne vrste, bile su ispod granice određivanja, zbog čega nije bilo moguće izvršiti proveru statističke značajnosti razlika, dok je za Co u zemljištu iz zone korena gloga i Ni iz zone korena trnjine, zaključeno da se koncentracije elemenata nisu značajno razlikovale na mestima uzorkovanja na ispitivanom području.

Na osnovu prethodno diskutovanih koncentracija elemenata u zemljištu iz zone korena šipurka, gloga i trnjine, kao i vrednosti faktora obogaćenja zemljišta (poglavlje

6.2), postojanje značajnih razlika može da potvrdi prethodne zaključke o poreklu elemenata. Značajne razlike ( $p \leq 0,05$ ) između koncentracija elemenata, koje su uglavnom bile niže u zemljištu sa kontrolnog mesta u odnosu na ostala mesta uzorkovanja, mogu postojati zbog prirodnog sastava zemljišta (Al), ali i zbog manjeg (Co, Fe, Mn) ili većeg uticaja antropogenih aktivnosti (As, Cu, Mo, Pb i Zn). Značajnim razlikama ( $p \leq 0,05$ ), koje su dobijene između koncentracija elemenata Cr i Ni u zemljištu iz zone korena šipurka i gloga, i Cr u zemljištu iz zone korena trnjine, koje su bazirane na većim koncentracijama elemenata u uzorcima sa kontrolnog mesta u odnosu na ostala zagađena mesta, može se potvrditi njihovo prirodno poreklo u zemljištu iz zone korena analiziranih biljnih vrsta, na ispitivanom području.

**Tabela 22.** Statistička značajnost ( $p$ ) razlika u koncentracijama elemenata u zemljištu šipurka (C) na mestima uzorkovanja koja su pod uticajem antropogenih aktivnosti i kontrolnog mesta

	Al	As	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Mo	Ni	Pb	Zn
$p$	0,003 <sup>a</sup>	0,002 <sup>a</sup>	0,016 <sup>a</sup>	0,011 <sup>b</sup>	0,001 <sup>a</sup>	0,001 <sup>a</sup>	0,002 <sup>a</sup>	0,002 <sup>a</sup>	0,039 <sup>b</sup>	0,001 <sup>a</sup>	0,001 <sup>a</sup>

Naglašene vrednosti označavaju nivo statističke značajnosti  $p \leq 0,05$  (dvostrano).

<sup>a</sup>Bazirano na pozitivnim razlikama u koncentracijama elemenata u zemljištu iz zagađenih zona i kontrolne zone ( $C_{\text{zagađena zona}} > C_{\text{kontrolna zona}}$ , u većini slučajeva);

<sup>b</sup>Bazirano na negativnim razlikama u koncentracijama elemenata u zemljištu iz zagađenih zona i kontrolne zone ( $C_{\text{zagađena zona}} < C_{\text{kontrolna zona}}$ , u većini slučajeva).

**Tabela 23.** Statistička značajnost ( $p$ ) razlika u koncentracijama elemenata u zemljištu gloga (C) sa mesta koja su pod uticajem antropogenih aktivnosti i kontrolnog mesta

	Al	As	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Mo	Ni	Pb	Zn
$p$	0,019 <sup>a</sup>	0,001 <sup>a</sup>	0,507 <sup>a</sup>	0,001 <sup>b</sup>	0,001 <sup>a</sup>	0,002 <sup>a</sup>	0,001 <sup>a</sup>	0,003 <sup>a</sup>	0,003 <sup>b</sup>	0,001 <sup>a</sup>	0,001 <sup>a</sup>

Naglašene vrednosti označavaju nivo statističke značajnosti  $p \leq 0,05$  (dvostrano).

<sup>a</sup>Bazirano na pozitivnim razlikama u koncentracijama elemenata u zemljištu iz zagađenih zona i kontrolne zone ( $C_{\text{zagađena zona}} > C_{\text{kontrolna zona}}$ , u većini slučajeva);

<sup>b</sup>Bazirano na negativnim razlikama u koncentracijama elemenata u zemljištu iz zagađenih zona i kontrolne zone ( $C_{\text{zagađena zona}} < C_{\text{kontrolna zona}}$ , u većini slučajeva).

**Tabela 24.** Statistička značajnost ( $p$ ) razlika u koncentracijama elemenata u zemljištu trnjine (C) sa mesta koja su pod uticajem antropogenih aktivnosti i kontrolnog mesta

	Al	As	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Mo	Ni	Pb	Zn
$p$	0,002 <sup>a</sup>	0,001 <sup>a</sup>	0,013 <sup>a</sup>	0,001 <sup>b</sup>	0,001 <sup>a</sup>	0,002 <sup>a</sup>	0,002 <sup>a</sup>	0,016 <sup>a</sup>	0,753 <sup>b</sup>	0,001 <sup>a</sup>	0,001 <sup>a</sup>

Naglašene vrednosti označavaju nivo statističke značajnosti  $p \leq 0,05$  (dvostrano).

<sup>a</sup>Bazirano na pozitivnim razlikama u koncentracijama elemenata u zemljištu iz zagađenih zona i kontrolne zone ( $C_{\text{zagađena zona}} > C_{\text{kontrolna zona}}$ , u većini slučajeva);

<sup>b</sup>Bazirano na negativnim razlikama u koncentracijama elemenata u zemljištu iz zagađenih zona i kontrolne zone ( $C_{\text{zagađena zona}} < C_{\text{kontrolna zona}}$ , u većini slučajeva).

### **6.3. Mogućnosti korišćenja biljnog materijala šipurka, gloga i trnjine u biomonitoringu**

U ovom poglavlju disertacije prikazane su koncentracije elemenata (Al, As, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni, Pb i Zn) u biljnom materijalu šipurka, gloga i trnjine (koren, grane, plodovi, neoprano i oprano lišće) sa četrnaest mesta uzorkovanja na ispitivanom području Bora i okoline. Koncentracije elemenata u biljnom materijalu su upoređivane u odnosu na mesta uzorkovanja, deo biljke, ali i biljnu vrstu, dok su vrednosti u opranom lišću upoređivane sa normalnim i toksičnim koncentracijama (poglavljje 2.1, tabela 1). Takođe, date su i vrednosti faktora obogaćenja biljnog materijala sve tri biljne vrste, kako bi se procenio antropogeni uticaj na akumulaciju elemenata u delovima šipurka, gloga i trnjine. Razlike u koncentracijama elemenata u neoprano i oprano lišću sve tri biljne vrste, koje su date u ovoj oblasti, ukazuju na prisustvo ispitivanih elemenata u atmosferskoj depoziciji, kao i na efekat pranja lišća.

#### **6.3.1. Aluminijum u biljnom materijalu šipurka, gloga i trnjine**

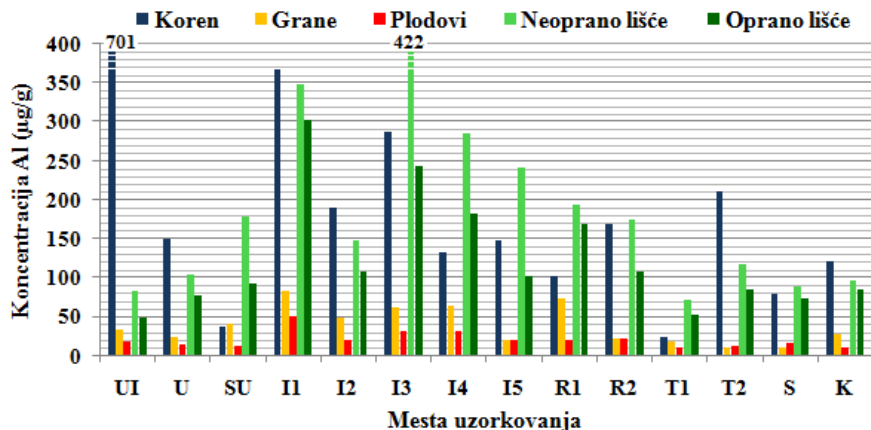
Aluminijum je element koji se uobičajeno nalazi u biljkama u koncentracijama od nekoliko desetina do nekoliko stotina  $\mu\text{g/g}$ , međutim, na njegov sadržaj velikog uticaja imaju sastav zemljišta i karakteristike biljaka (Kabata-Pendias, 2011).

Na slici 37, prikazane su koncentracije Al u biljnom materijalu šipurka (koren, grane, plodovi, neoprano i oprano lišće) uzorkovanom na području Bora i okoline. Najveća koncentracija Al u korenu šipurka bila je u uzorku na mestu UI. Na mestima II i I3 (okolina odlagališta raskrivke kopova Cerovo i Veliki Krivelj) zabeležene su najveće koncentracije Al u nadzemnim delovima šipurka. Takođe, na ovim mestima su zabeležene visoke koncentracije Al u korenu. U većini uzoraka šipurka na mestima T1 zabeležene su najniže koncentracije Al.

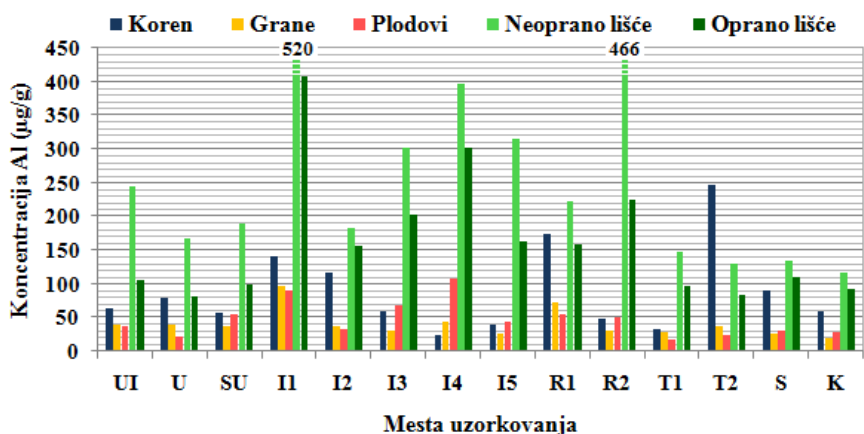
Koncentracije Al u biljnom materijalu gloga (koren, grane, plodovi, neoprano i oprano lišće) sa ispitivanog područja, prikazane su na slici 38. U korenu gloga sa mesta T2 izmerena je najveća koncentracija Al, dok su u nadzemnim delovima gloga najveće koncentracije zabeležene u uzorcima sa mesta II, I4 i R2. Najniža koncentracije Al u



korenu gloga bila je u uzorku sa mesta I4, dok su u većini uzoraka nadzemnih delova najniže koncentracije bile iz kontrolne i turističke zone.

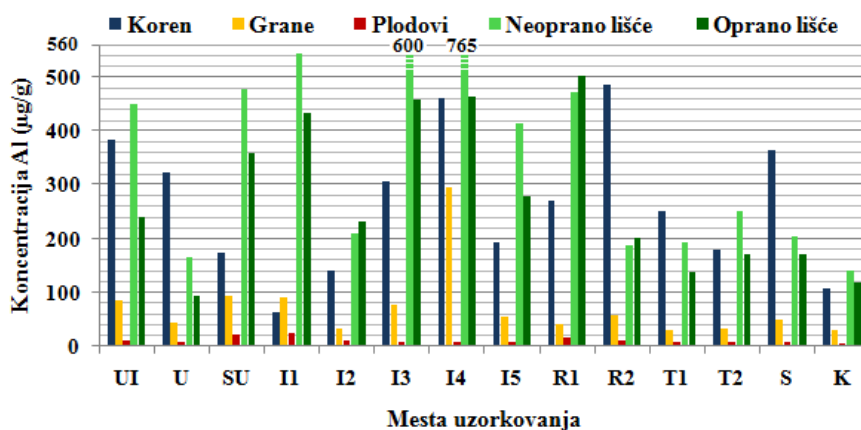


**Slika 37.** Koncentracije Al ( $\mu\text{g/g}$ ) u korenu, granama, plodovima, neoprano i oprano lišću šipurka na ispitivanom području



**Slika 38.** Koncentracije Al ( $\mu\text{g/g}$ ) u korenu, granama, plodovima, neoprano i oprano lišću gloga na ispitivanom području

Na slici 39, prikazane su koncentracije Al u biljnom materijalu trnjine (koren, grane, plodovi, neoprano i oprano lišće) uzorkovanom na ispitivanom području. U korenu trnjine najveća koncentracija Al detektovana je na mestu R2, dok su najveće koncentracije u nadzemnim delovima uglavnom bile na mestima I4 ali i I1. Uzorci trnjine sa najnižim koncentracijama Al bili su iz kontrolne i urbane zone.



**Slika 39.** Koncentracije Al ( $\mu\text{g/g}$ ) u korenu, granama, plodovima, neoprano i oprano lišću trnjine na ispitivanom području

U tabelama 25, 26 i 27, date su vrednosti faktora obogaćenja biljnog materijala šipurka, gloga i trnjine aluminijumom. Obogaćenje biljnog materijala sve tri biljne vrste, koje je u najvećem broju slučajeva bilo umereno, uočeno je u uzorcima sa mesta na kojima su detektovane veće koncentracije aluminijuma. Mesta uzorkovanja na kojima je biljni materijal u većoj meri bio obogaćen aluminijumom, u odnosu na ostala mesta, uglavnom su iz industrijske zone (naročito I1, I3 i I4), urbano-industrijske i ruralne zone.

**Tabela 25.** Faktor obogaćenja biljnog materijala šipurka aluminijumom na ispitivanom području

	Koren	Grane	Plodovi	Neoprano lišće	Oprano lišće
UI	<b>5,77</b>	1,25	1,79	0,86	0,58
U	1,23	0,89	1,37	1,06	0,91
SU	0,31	1,49	1,20	1,83	1,09
I1	<b>3,02</b>	<b>3,10</b>	<b>4,99</b>	<b>3,60</b>	<b>3,60</b>
I2	1,56	1,84	1,97	1,52	1,27
I3	<b>2,37</b>	<b>2,27</b>	<b>3,05</b>	<b>4,36</b>	<b>2,90</b>
I4	1,09	<b>2,40</b>	<b>3,02</b>	<b>2,94</b>	<b>2,16</b>
I5	1,22	0,77	<b>2,00</b>	<b>2,49</b>	1,20
R1	0,84	<b>2,73</b>	1,93	2,00	2,00
R2	1,38	0,82	<b>2,06</b>	1,80	1,27
T1	0,19	0,70	0,94	0,73	0,62
T2	1,74	0,42	1,27	1,21	1,00
S	0,64	0,36	1,48	0,91	0,86

Naglašene vrednosti označavaju obogaćenje uzorka aluminijumom ( $EF > 2$ ).

**Tabela 26.** Faktor obogaćenja biljnog materijala gloga aluminijumom na ispitivanom području

	Koren	Grane	Plodovi	Neoprano lišće	Oprano lišće
<b>UI</b>	1,05	<b>2,02</b>	1,25	<b>2,08</b>	1,14
<b>U</b>	1,31	<b>2,08</b>	0,75	1,42	0,88
<b>SU</b>	0,97	1,99	1,92	1,62	1,05
<b>I1</b>	<b>2,34</b>	<b>5,05</b>	<b>3,07</b>	<b>4,43</b>	<b>4,38</b>
<b>I2</b>	1,95	1,96	1,15	1,56	1,68
<b>I3</b>	0,99	1,58	<b>2,35</b>	<b>2,57</b>	<b>2,18</b>
<b>I4</b>	0,38	<b>2,31</b>	<b>3,72</b>	<b>3,39</b>	<b>3,25</b>
<b>I5</b>	0,67	1,36	1,48	<b>2,69</b>	1,76
<b>R1</b>	<b>2,91</b>	<b>3,87</b>	1,91	1,89	1,71
<b>R2</b>	0,79	1,62	1,77	<b>3,98</b>	<b>2,43</b>
<b>T1</b>	0,54	1,44	0,62	1,25	1,05
<b>T2</b>	<b>4,10</b>	1,99	0,80	1,11	0,90
<b>S</b>	1,49	1,35	1,07	1,15	1,19

Naglašene vrednosti označavaju obogaćenje uzorka aluminijumom (EF>2).

**Tabela 27.** Faktor obogaćenja biljnog materijala trnjine aluminijumom na ispitivanom području

	Koren	Grane	Plodovi	Neoprano lišće	Oprano lišće
<b>UI</b>	<b>3,54</b>	<b>2,79</b>	1,90	<b>3,23</b>	<b>2,04</b>
<b>U</b>	<b>2,99</b>	1,43	1,48	1,19	0,79
<b>SU</b>	1,61	<b>3,04</b>	<b>3,92</b>	<b>3,42</b>	<b>3,05</b>
<b>I1</b>	0,58	<b>3,00</b>	<b>4,28</b>	<b>3,89</b>	<b>3,70</b>
<b>I2</b>	1,31	1,05	1,81	1,50	1,98
<b>I3</b>	<b>2,84</b>	<b>2,52</b>	1,50	<b>4,30</b>	<b>3,92</b>
<b>I4</b>	<b>4,27</b>	<b>9,67</b>	1,57	<b>5,48</b>	<b>3,95</b>
<b>I5</b>	1,79	1,80	1,39	<b>2,96</b>	<b>2,39</b>
<b>R1</b>	<b>2,49</b>	1,37	<b>2,53</b>	<b>3,38</b>	<b>4,28</b>
<b>R2</b>	<b>4,49</b>	1,93	1,60	1,35	1,73
<b>T1</b>	<b>2,32</b>	1,02	1,43	1,39	1,18
<b>T2</b>	1,67	1,12	1,47	1,80	1,45
<b>S</b>	<b>3,38</b>	1,58	1,43	1,46	1,46

Naglašene vrednosti označavaju obogaćenje uzorka aluminijumom (EF>2).

Na osnovu prikazanih podataka, može se reći da su najveće koncentracije Al u biljnom materijalu šipurka, gloga i trnjine, kao i obogaćenje aluminijumom, zabeležene u uzorcima iz industrijske zone i to najčešće na mestima uzorkovanja u okolini odlagališta raskrivke kopova Cerovo i Veliki Krivelj i kriveljskog flotacijskog jalovišta

(I1, I3 i I4), kao i u nekoliko uzoraka na mestima UI, SU, R1 i R2. Poreklo Al u industrijskoj zoni je najverovatnije iz resuspendovanih čestica zemljišta i otpadnog materijala koji se odlaže sa površinskih kopova, kao i čestica sa jalovišta koje su nošene vetrom naročito u sušnom periodu. Najniže koncentracije Al nisu detektovane isključivo na kontrolnom mestu, već i na mestima u turističkoj zoni, ali i u pojedinim uzorcima iz urbane zone. Na osnovu toga, kao i na osnovu vrednosti faktora obogaćenja, može se smatrati da je prisustvo Al u uzorcima sve tri biljne vrste jednim delom prirodnog porekla.

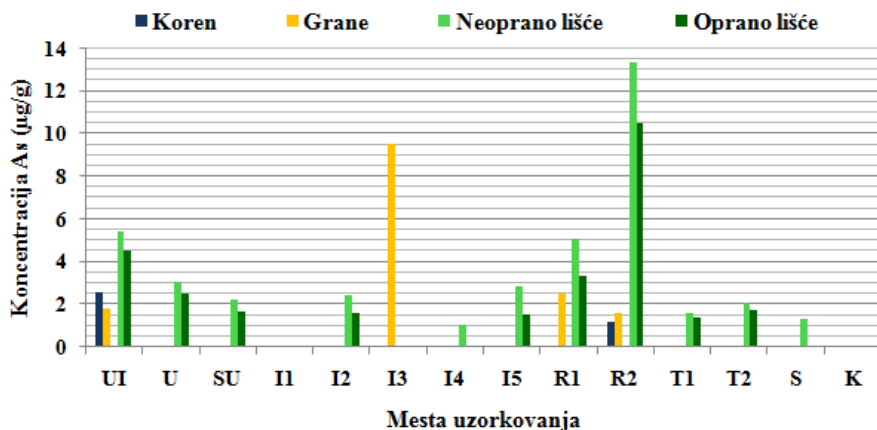
Upoređivanjem koncentracija u pojedinačnim delovima šipurka, gloga i trnjine može se uočiti se da su najveće koncentracije zabeležene u neoprano lišću i u nekoliko uzoraka korena, dok su najmanje bile u većini uzoraka plodova. Ukoliko se napravi poređenje između biljnih vrsta, zaključuje se da su detektovane najveće koncentracije Al u većini uzoraka trnjine (koren, neoprano i oprano lišće) i šipurka (grane i plodovi).

### 6.3.2. Arsen u biljnom materijalu šipurka, gloga i trnjine

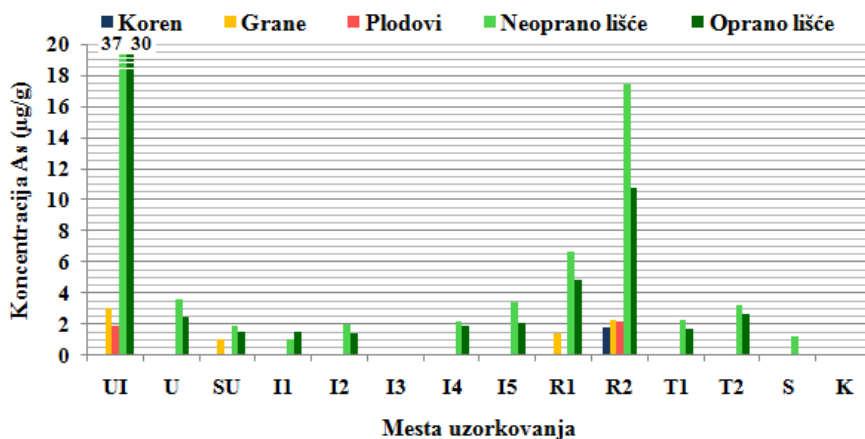
Sadržaj As bio je ispod donje granice određivanja ( $<1 \mu\text{g/g}$ ) u većini uzoraka korena, grana i plodova, kao i u nekoliko uzoraka lišća sve tri biljne vrste.

Na slici 40, prikazane su koncentracije As u biljnom materijalu šipurka (koren, grane, neoprano i oprano lišće) koji je uzorkovan na području Bora i okoline. U korenu šipurka koncentracije As bile su detektovane samo na mestima UI i R2 i iznosile su  $2,53 \mu\text{g/g}$  i  $1,19 \mu\text{g/g}$ . U granama šipurka najveća koncentracija bila je u uzorku na mestu I3. U svim uzorcima plodova šipurka, koncentracije As bile su  $<1 \mu\text{g/g}$ . Koncentracije As u neoprano lišću kretale su se od  $1 \mu\text{g/g}$  do  $13,3 \mu\text{g/g}$ , dostižući najveću vrednost na mestu uzorkovanja R2. U oprano lišću šipurka, koncentracije As koja je bila najveća a ujedno i toksična (tabela 1), detektovana je u uzorku na mestu R2.

Na slici 41, prikazane su koncentracije As u biljnom materijalu gloga (koren, grane, plodovi, neoprano i oprano lišće) uzorkovanom na području Bora i okoline. Jedina detektovana koncentracija As u korenu gloga bila je na mestu R2 i iznosila je  $1,73 \mu\text{g/g}$ . U granama, plodovima i neoprano lišću gloga, najveće koncentracije As zabeležene su na mestima UI i R2. Takođe, u oprano lišću sa ovih mesta koncentracije As su bile najveće, kao i u opsegu toksičnih vrednosti (tabela 1).

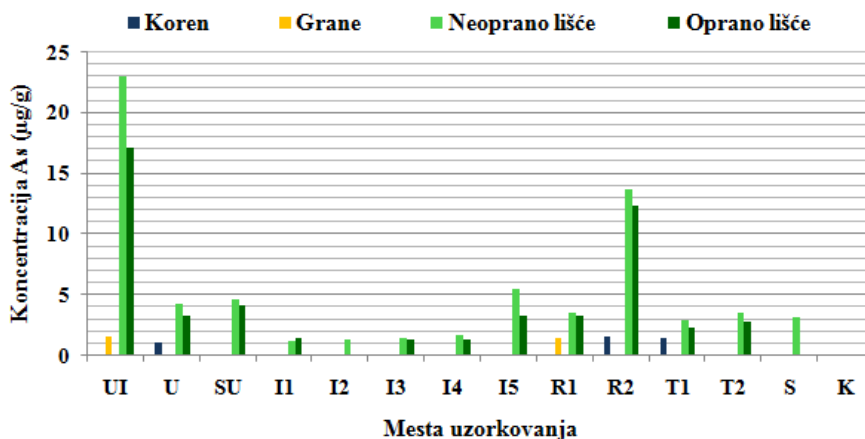


Slika 40. Koncentracije As ( $\mu\text{g/g}$ ) u korenu, granama, neopranoj i opranoj lišću šipurka na ispitivanom području



Slika 41. Koncentracije As ( $\mu\text{g/g}$ ) u korenu, granama, plodovima, neopranoj i opranoj lišću gloga na ispitivanom području

Koncentracije As u biljnom materijalu trnjine (koren, grane, neoprano i oprano lišće) uzorkovanom na ispitivanom području Bora i okoline, prikazane su na slici 42. Najveće koncentracije As u korenu trnjine bile su izmerene u uzorku sa mesta R2, dok je u granama najveća koncentracija bila na mestu UI. U plodovima su koncentracije As bile ispod granice određivanja. U uzorcima neopranoj i opranoj lišću najveće vrednosti As bile su takođe na mestima UI i R2. U opranoj lišću trnjine na mestima UI i R2, koncentracije As su bile u opsegu toksičnih prema podacima iz tabele 1.



**Slika 42.** Koncentracije As ( $\mu\text{g/g}$ ) u korenu, granama, neoprano i oprano lišću trnjine na ispitivanom području

Vrednosti faktora obogaćenja biljnog materijala šipurka, gloga i trnjine arsenom date su u tabelama 28, 29 i 30. Na osnovu izračunatih EF vrednosti, može se istaknuti da je svega nekoliko uzoraka korena, grana i plodova bilo obogaćeno arsenom. Uzorci neoprano i oprano lišća ispitivanih biljaka sa većine mesta uzorkovanja bili su umereno do veoma visoko obogaćeni arsenom. Najveće vrednosti faktora obogaćenja zabeležene su za neoprano i oprano lišće šipurka, gloga i trnjine iz urbano-industrijske i ruralne zone.

Na osnovu dobijenih podataka, uočava se da su najveće koncentracije As detektovane u delovima šipurka, gloga i trnjine iz urbano-industrijske i ruralne zone (naročito sa mesta R2). Iako je obogaćenje neoprano i oprano lišća zabeleženo skoro na svim mestima uzorkovanja (osim na mestu I1), najveće vrednosti faktora obogaćenja su za uzorke iz urbano-industrijske i ruralne zone. Mesta uzorkovanja iz ovih zona su pod direktnim uticajem zagađenja iz rudarsko-metalurške proizvodnje bakra, jer su u neposrednoj blizini (mesto UI) i na pravcu dominantnih vetrova (mesta R1 i R2), koji utiču na distribuciju zagađujućih supstanci. Na osnovu prikazanih podataka, kao i zbog sastava ruda koje se prerađuju i sadrže određeni udeo arsena, može se smatrati da je poreklo ovog metaloida u biljnom materijalu antropogeno na ispitivanom području.

**Tabela 28.** Faktor obogaćenja biljnog materijala šipurka arsenom na ispitivanom području

	Koren	Grane	Plodovi	Neoprano lišće	Oprano lišće
<b>UI</b>	<b>&gt;2,53</b>	>1,78	/	<b>&gt;5,43</b>	<b>&gt;4,52</b>
<b>U</b>	/	/	/	<b>&gt;3,05</b>	<b>&gt;2,49</b>
<b>SU</b>	/	/	/	<b>&gt;2,23</b>	>1,67
<b>I1</b>	/	/	/	/	/
<b>I2</b>	/	/	/	<b>&gt;2,45</b>	>1,62
<b>I3</b>	/	<b>&gt;9,50</b>	/	/	/
<b>I4</b>	/	/	/	>1,01	/
<b>I5</b>	/	/	/	<b>&gt;2,85</b>	>1,53
<b>R1</b>	/	<b>&gt;2,52</b>	/	<b>&gt;5,05</b>	<b>&gt;3,34</b>
<b>R2</b>	>1,19	>1,61	/	<b>&gt;13,30</b>	<b>&gt;10,49</b>
<b>T1</b>	/	/	/	>1,61	>1,36
<b>T2</b>	/	/	/	<b>&gt;2,11</b>	>1,72
<b>S</b>	/	/	/	>1,29	/

Naglašene vrednosti označavaju obogaćenje uzorka arsenom (EF>2).

Vrednosti sa predznakom „>” dobijene su deljenjem koncentracije As u biljnom materijalu sa određenog mesta sa donjom granicom određivanja As u uzorku iz kontrolne zone zbog nedostatka vrednosti.

„/” – koncentracije u biljnom materijalu sa određenog i kontrolnog mesta uzorkovanja su ispod donje granice određivanja.

**Tabela 29.** Faktor obogaćenja biljnog materijala gloga arsenom na ispitivanom području

	Koren	Grane	Plodovi	Neoprano lišće	Oprano lišće
<b>UI</b>	/	<b>&gt;2,96</b>	>1,89	<b>&gt;37,17</b>	<b>&gt;29,98</b>
<b>U</b>	/	/	/	<b>&gt;3,54</b>	<b>&gt;2,46</b>
<b>SU</b>	/	>1,02	/	>1,85	>1,52
<b>I1</b>	/	/	/	>1,02	>1,47
<b>I2</b>	/	/	/	>1,97	>1,43
<b>I3</b>	/	/	/	/	/
<b>I4</b>	/	/	/	<b>&gt;2,15</b>	>1,83
<b>I5</b>	/	/	/	<b>&gt;3,40</b>	<b>&gt;2,03</b>
<b>R1</b>	/	>1,34	/	<b>&gt;6,61</b>	<b>&gt;4,87</b>
<b>R2</b>	>1,73	<b>&gt;2,26</b>	<b>&gt;2,16</b>	<b>&gt;17,48</b>	<b>&gt;10,70</b>
<b>T1</b>	/	/	/	<b>&gt;2,27</b>	>1,71
<b>T2</b>	/	/	/	<b>&gt;3,24</b>	<b>&gt;2,63</b>
<b>S</b>	/	/	/	>1,20	/

Naglašene vrednosti označavaju obogaćenje uzorka arsenom (EF>2).

Vrednosti sa predznakom „>” dobijene su deljenjem koncentracije As u biljnom materijalu sa određenog mesta sa donjom granicom određivanja As u uzorku iz kontrolne zone zbog nedostatka vrednosti.

„/” – koncentracije u biljnom materijalu sa određenog i kontrolnog mesta uzorkovanja su ispod donje granice određivanja.

**Tabela 30.** Faktor obogaćenja biljnog materijala trnjine arsenom na ispitivanom području

	Koren	Grane	Plodovi	Neoprano lišće	Oprano lišće
<b>UI</b>	/	>1,50	/	>22,98	>17,12
<b>U</b>	>1,01	/	/	>4,25	>3,22
<b>SU</b>	/	/	/	>4,58	>4,06
<b>I1</b>	/	/	/	1,10	>1,43
<b>I2</b>	/	/	/	1,21	/
<b>I3</b>	/	/	/	1,42	>1,26
<b>I4</b>	/	/	/	1,62	>1,30
<b>I5</b>	/	/	/	>5,42	>3,27
<b>R1</b>	/	>1,34	/	>3,46	>3,26
<b>R2</b>	>1,55	/	/	>13,70	>12,24
<b>T1</b>	>1,41	/	/	>2,80	>2,18
<b>T2</b>	/	/	/	>3,49	>2,74
<b>S</b>	/	/	/	>3,07	/

Naglašene vrednosti označavaju obogaćenje uzorka arsenom (EF>2).

Vrednosti sa predznakom „>” dobijene su deljenjem koncentracije As u biljnom materijalu sa određenog mesta sa donjom granicom određivanja As u uzorku iz kontrolne zone zbog nedostatka vrednosti.

„/” – koncentracije u biljnom materijalu sa određenog i kontrolnog mesta uzorkovanja su ispod donje granice određivanja.

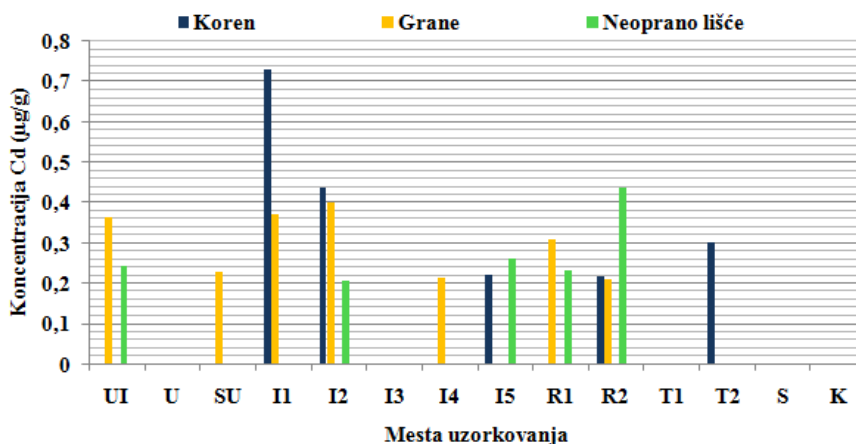
Kako su u velikom broju uzoraka korena, grana i plodova koncentracije As bile niže od granice određivanja, može se reći da je neoprano i oprano lišće sve tri biljke sadržalo najveće koncentracije As. Koncentracije su bile najveće u uzorcima na mestima koja su bila pod najvećim uticajem zagađenja poreklom iz rudarsko-metalurške proizvodnje, zbog čega se lišće može smatrati najpogodnijim delom šipurka, gloga i trnjine za korišćenje u biomonitoringu zagađenja vazduha arsenom. Upoređivanjem lišća biljnih vrsta, najveće koncentracije As detektovane su u većini uzoraka lišća trnjine, u odnosu na lišće šipurka i gloga, iako su sve tri biljke sadržale As u koncentracijama sličnih vrednosti.

### 6.3.3. Kadmijum u biljnom materijalu šipurka, gloga i trnjine

U većem broju uzoraka biljnog materijala sve tri biljne vrste, koncentracije Cd bile su ispod donje granice određivanja (<0,2 µg/g). Detektovane koncentracije Cd u biljnom materijalu šipurka (koren, grane, neoprano lišće) koji je uzorkovan na



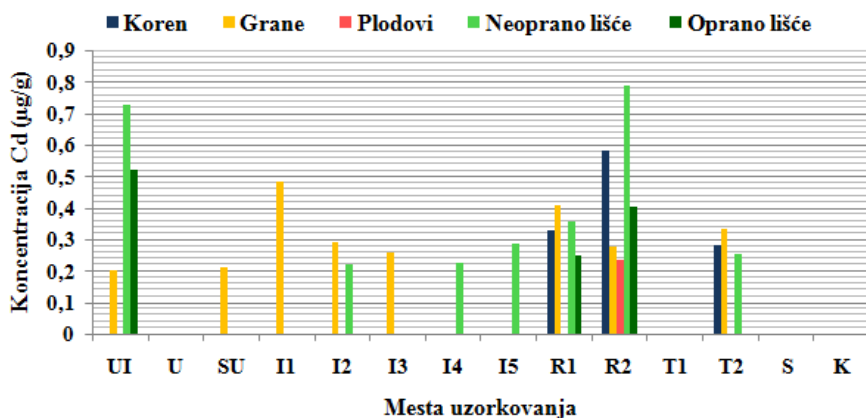
ispitivanom području prikazane su na slici 43. U korenu i granama šipurka koncentracija Cd je bila najveća na mestu I1 koje se nalazi u okolini odlagališta raskrivke sa površinskog kopa Cerovo, dok je najveća vrednost u neoprano lišću zabeležena na mestu R2 koje je na pravcu dominantnog vetra.



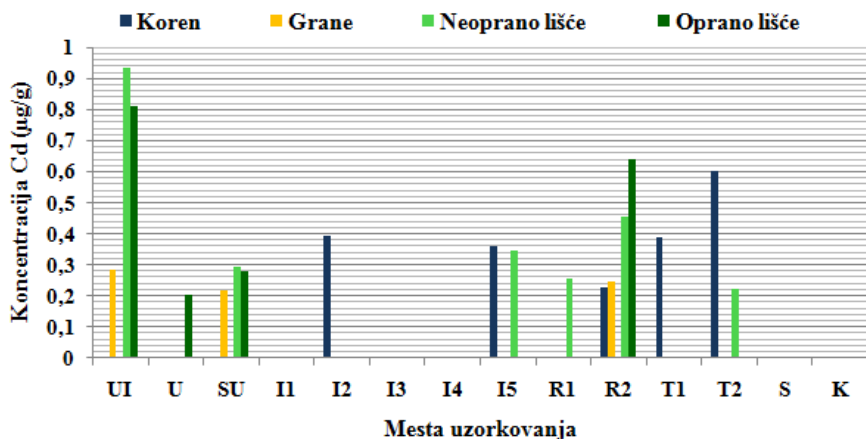
**Slika 43.** Koncentracije Cd ( $\mu\text{g/g}$ ) u korenu, granama i neoprano lišću šipurka na ispitivanom području

Na slici 44, prikazane su koncentracije Cd u biljnom materijalu gloga (koren, grane, plodovi, neoprano i oprano lišće) koji je uzorkovan na ispitivanom području. Koncentracije Cd u korenu gloga bila je najveća u uzorku na mestu R2, dok je u grani najveća koncentracija bila u uzorku na mestu I1. U neoprano i oprano lišću na mestima R2 i UI zabeležene su najveće vrednosti Cd. Koncentracije Cd u oprano lišću su bile iznad normalnih vrednosti, ali ne i iznad toksičnih (tabela 1).

Koncentracije Cd u biljnom materijalu trnjine (koren, grane, neoprano i oprano lišće) uzorkovanom na ispitivanom području prikazane su na slici 45. U korenu trnjine, najveća vrednost Cd bila je na mestu T2, dok su u granama, neoprano i oprano lišću najveće koncentracije Cd bile na mestu UI. U oprano lišću trnjine koncentracije Cd nisu dostizale toksičnu vrednost, iako su u pojedinim uzorcima bile iznad normalnih vrednosti (tabela 1).



**Slika 44.** Koncentracije Cd ( $\mu\text{g/g}$ ) u korenu, granama, plodovima, neopranom i opranom lišću gloga na ispitivanom području



**Slika 45.** Koncentracije Cd ( $\mu\text{g/g}$ ) u korenu, granama, neopranom i opranom lišću trnjine na ispitivanom području

U tabelama 31, 32 i 33, prikazane su vrednosti faktora obogaćenja biljnog materijala šipurka, gloga i trnjine kadmijumom. Obogaćenje biljnog materijala uglavnom se primećuje u uzorcima u kojima su detektovane najveće koncentracije Cd, što je i očekivano. Najveće obogaćenje je zabeleženo za uzorke iz urbano-industrijske i ruralne zone (mesto R2), najčešće za neoprano i oprano lišće.

**Tabela 31.** Faktor obogaćenja biljnog materijala šipurka kadmijumom na ispitivanom području

	Koren	Grane	Plodovi	Neoprano lišće	Oprano lišće
<b>UI</b>	/	>1,82	/	>1,20	/
<b>U</b>	/	/	/	/	/
<b>SU</b>	/	>1,14	/	/	/
<b>I1</b>	<b>&gt;3,65</b>	>1,86	/	/	/
<b>I2</b>	<b>&gt;2,18</b>	<b>&gt;2,00</b>	/	>1,04	/
<b>I3</b>	/	/	/	/	/
<b>I4</b>	/	>1,06	/	/	/
<b>I5</b>	>1,11	/	/	>1,30	/
<b>R1</b>	/	>1,55	/	>1,16	/
<b>R2</b>	>1,07	>1,04	/	<b>&gt;2,19</b>	/
<b>T1</b>	/	/	/	/	/
<b>T2</b>	>1,50	/	/	/	/
<b>S</b>	/	/	/	/	/

Naglašene vrednosti označavaju obogaćenje uzorka kadmijumom (EF>2).

Vrednosti sa predznakom „>” dobijene su deljenjem koncentracije Cd u biljnom materijalu sa određenog mesta sa donjom granicom određivanja Cd u uzorku iz kontrolne zone zbog nedostatka vrednosti.

„/” – koncentracije u biljnom materijalu sa određenog i kontrolnog mesta uzorkovanja su ispod donje granice određivanja.

**Tabela 32.** Faktor obogaćenja biljnog materijala gloga kadmijumom na ispitivanom području

	Koren	Grane	Plodovi	Neoprano lišće	Oprano lišće
<b>UI</b>	/	>1,00	/	<b>&gt;3,64</b>	<b>&gt;2,60</b>
<b>U</b>	/	/	/	/	/
<b>SU</b>	/	>1,07	/	/	/
<b>I1</b>	/	<b>&gt;2,42</b>	/	/	/
<b>I2</b>	/	>1,46	/	>1,09	/
<b>I3</b>	/	>1,28	/	/	/
<b>I4</b>	/	/	/	>1,12	/
<b>I5</b>	/	/	/	>1,42	/
<b>R1</b>	>1,64	<b>&gt;2,03</b>	/	>1,78	>1,25
<b>R2</b>	<b>&gt;2,89</b>	>1,38	<b>&gt;2,10</b>	<b>&gt;3,93</b>	<b>&gt;2,01</b>
<b>T1</b>	/	/	/	/	/
<b>T2</b>	>1,40	>1,67	/	>1,28	/
<b>S</b>	/	/	/	/	/

Naglašene vrednosti označavaju obogaćenje uzorka kadmijumom (EF>2).

Vrednosti sa predznakom „>” dobijene su deljenjem koncentracije Cd u biljnom materijalu sa određenog mesta sa donjom granicom određivanja Cd u uzorku iz kontrolne zone zbog nedostatka vrednosti.

„/” – koncentracije u biljnom materijalu sa određenog i kontrolnog mesta uzorkovanja su ispod donje granice određivanja.

Na osnovu dobijenih podataka, uočava se da mesta uzorkovanja na kojima su detektovane najveće koncentracije Cd u delovima ispitivanih biljnih vrsta su UI i R2, ali i mesta I1 i I2. S obzirom da su ova mesta u blizini industrijskog kompleksa (UI), na pravcu dominantnih vetrova (R2) ili u blizini odlagališta raskrivke površinskog kopa Cerovo (I1 i I2), može se smatrati se da je poreklo Cd u biljnom materijalu iz rudarsko-metalurške proizvodnje. Takođe, zbog sadržaja Cd koji je bio niži od granice određivanja u velikom broju uzoraka, ne može se sa sigurnošću reći koja biljna vrsta i u kom delu je sadržala najveće koncentracije Cd. Lišće šipurka, gloga i trnjine se može koristiti u biomonitoringu, u područjima koja se smatraju zagađenim ovim elementom, kao što su mesta UI i R2.

**Tabela 33.** Faktor obogaćenja biljnog materijala trnjine kadmijumom na ispitivanom području

	Koren	Grane	Plodovi	Neoprano lišće	Oprano lišće
<b>UI</b>	/	/	/	<b>&gt;4,66</b>	<b>&gt;4,04</b>
<b>U</b>	/	/	/	/	>1,02
<b>SU</b>	/	>1,08	/	>1,46	>1,40
<b>I1</b>	/	/	/	/	/
<b>I2</b>	>1,96	/	/	/	/
<b>I3</b>	/	/	/	/	/
<b>I4</b>	/	/	/	/	/
<b>I5</b>	>1,80	/	/	>1,73	/
<b>R1</b>	/	/	/	>1,29	/
<b>R2</b>	>1,13	>1,24	/	<b>&gt;2,27</b>	<b>&gt;3,20</b>
<b>T1</b>	>1,94	/	/	/	/
<b>T2</b>	<b>&gt;3,01</b>	/	/	>1,12	/
<b>S</b>	/	/	/	/	/

Naglašene vrednosti označavaju obogaćenje uzorka kadmijumom (EF>2).

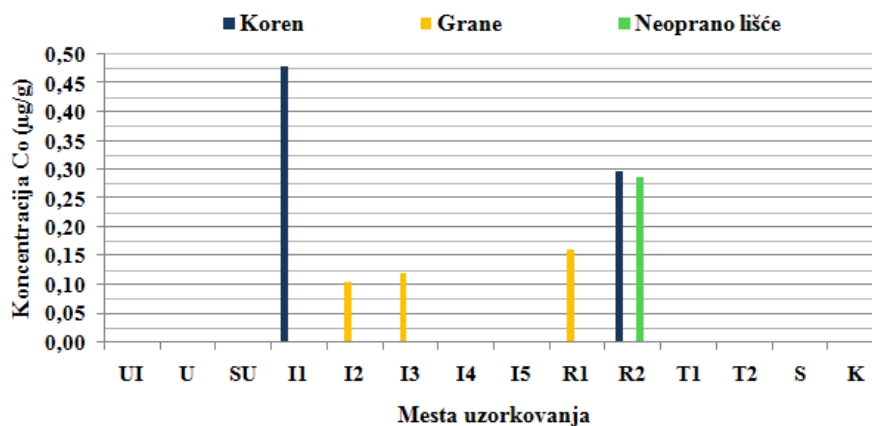
Vrednosti sa predznakom „>” dobijene su deljenjem koncentracije Cd u biljnom materijalu sa određenog mesta sa donjom granicom određivanja Cd u uzorku iz kontrolne zone zbog nedostatka vrednosti.

„/” – koncentracije u biljnom materijalu sa određenog i kontrolnog mesta uzorkovanja su ispod donje granice određivanja.

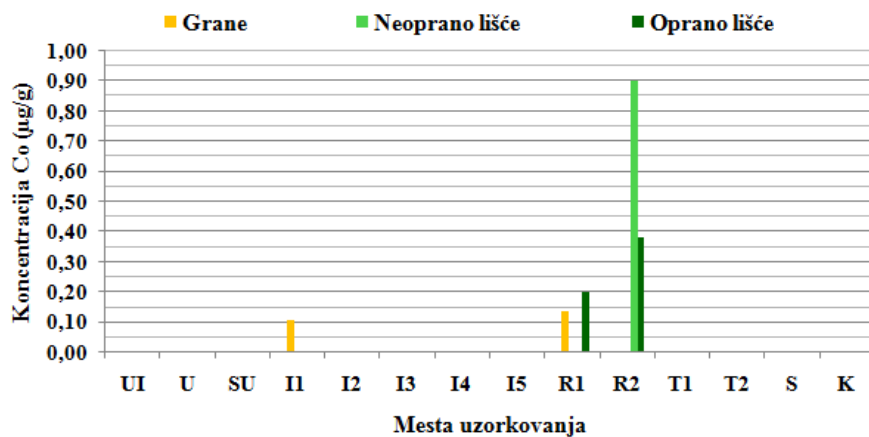
### 6.3.4. Kobalt u biljnom materijalu šipurka, gloga i trnjine

Koncentracije Co u većini uzoraka biljnog materijala sve tri biljne vrste bile su ispod donje granice određivanja ( $<0,1 \mu\text{g/g}$  za uzorke grana i  $<0,2 \mu\text{g/g}$  za ostale uzorke).

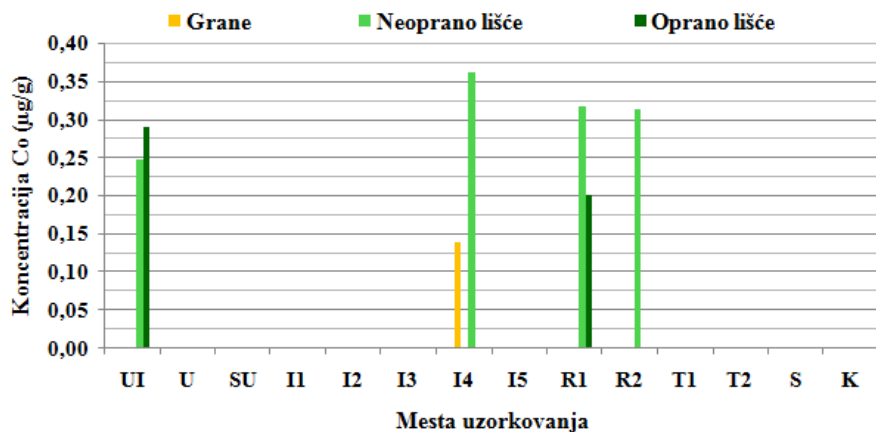
Na slikama 46, 47 i 48, prikazane su koncentracije Co u biljnom materijalu šipurka, gloga i trnjine (koren, grane, neoprano i oprano lišće) uzorkovanom na području Bora i okoline. Uzorci u kojima je detektovan Co su iz urbano-industrijske, industrijske i ruralne zone. Međutim, na osnovu nekoliko dobijenih koncentracija Co u uzorcima biljnog materijala, ne može se doneti zaključak o poreklu kobalta, jer i na ostalim mestima koja su takođe pod uticajem zagađenja iz topionice, Co nije bio detektovan. U opranom lišću ispitivanih biljnih vrsta koncentracije Co bile su u okviru normalnih vrednosti (tabela 1). Faktore obogaćenja biljnog materijala je bilo moguće izračunati za mali broj uzoraka. Vrednosti faktora obogaćenja delova ispitivanih biljaka kobaltom (tabele od 34-36) bile su  $>2$  samo za uzorke korena šipurka sa mesta I1 i neopranog lišća gloga sa mesta R2.



**Slika 46.** Koncentracije Co ( $\mu\text{g/g}$ ) u korenu, granama i neopranom lišću šipurka na ispitivanom području



Slika 47. Koncentracije Co ( $\mu\text{g/g}$ ) u granama, neoprano i oprano lišću gloga na ispitivanom području



Slika 48. Koncentracije Co ( $\mu\text{g/g}$ ) u granama, neoprano i oprano lišću trnjine na ispitivanom području

**Tabela 34.** Faktor obogaćenja biljnog materijala šipurka kobaltom na ispitivanom području

	Koren	Grane	Plodovi	Neoprano lišće	Oprano lišće
<b>UI</b>	/	/	/	/	/
<b>U</b>	/	/	/	/	/
<b>SU</b>	/	/	/	/	/
<b>I1</b>	>2,39	/	/	/	/
<b>I2</b>	/	>1,05	/	/	/
<b>I3</b>	/	>1,19	/	/	/
<b>I4</b>	/	/	/	/	/
<b>I5</b>	/	/	/	/	/
<b>R1</b>	/	>1,61	/	/	/
<b>R2</b>	>1,49	/	/	>1,43	/
<b>T1</b>	/	/	/	/	/
<b>T2</b>	/	/	/	/	/
<b>S</b>	/	/	/	/	/

Naglašene vrednosti označavaju obogaćenje uzorka kobaltom (EF>2).

Vrednosti sa predznakom „>” dobijene su deljenjem koncentracije Co u biljnom materijalu sa određenog mesta sa donjom granicom određivanja Co u uzorku iz kontrolne zone zbog nedostatka vrednosti.

„/” – koncentracije u biljnom materijalu sa određenog i kontrolnog mesta uzorkovanja su ispod donje granice određivanja.

**Tabela 35.** Faktor obogaćenja biljnog materijala gloga kobaltom na ispitivanom području

	Koren	Grane	Plodovi	Neoprano lišće	Oprano lišće
<b>UI</b>	/	/	/	/	/
<b>U</b>	/	/	/	/	/
<b>SU</b>	/	/	/	/	/
<b>I1</b>	/	>1,09	/	/	/
<b>I2</b>	/	/	/	/	/
<b>I3</b>	/	/	/	/	/
<b>I4</b>	/	/	/	/	/
<b>I5</b>	/	/	/	/	/
<b>R1</b>	/	>1,37	/	/	>1,01
<b>R2</b>	/	/	/	>4,51	>1,90
<b>T1</b>	/	/	/	/	/
<b>T2</b>	/	/	/	/	/
<b>S</b>	/	/	/	/	/

Naglašene vrednosti označavaju obogaćenje uzorka kobaltom (EF>2).

Vrednosti sa predznakom „>” dobijene su deljenjem koncentracije Co u biljnom materijalu sa određenog mesta sa donjom granicom određivanja Co u uzorku iz kontrolne zone zbog nedostatka vrednosti.

„/” – koncentracije u biljnom materijalu sa određenog i kontrolnog mesta uzorkovanja su ispod donje granice određivanja.

**Tabela 36.** Faktor obogaćenja biljnog materijala trnjine kobaltom na ispitivanom području

	Koren	Grane	Plodovi	Neoprano lišće	Oprano lišće
<b>UI</b>	/	/	/	>1,24	>1,45
<b>U</b>	/	/	/	/	/
<b>SU</b>	/	/	/	/	/
<b>I1</b>	/	/	/	/	/
<b>I2</b>	/	/	/	/	/
<b>I3</b>	/	/	/	/	/
<b>I4</b>	/	>1,39	/	>1,81	/
<b>I5</b>	/	/	/	/	/
<b>R1</b>	/	/	/	>1,58	1,00
<b>R2</b>	/	/	/	>1,56	/
<b>T1</b>	/	/	/	/	/
<b>T2</b>	/	/	/	/	/
<b>S</b>	/	/	/	/	/

Naglašene vrednosti označavaju obogaćenje uzorka kobaltom (EF>2).

Vrednosti sa predznakom „>” dobijene su deljenjem koncentracije Co u biljnom materijalu sa određenog mesta sa donjom granicom određivanja Co u uzorku iz kontrolne zone zbog nedostatka vrednosti.

„/” – koncentracije u biljnom materijalu sa određenog i kontrolnog mesta uzorkovanja su ispod donje granice određivanja.

### 6.3.5. Hrom u biljnom materijalu šipurka, gloša i trnjine

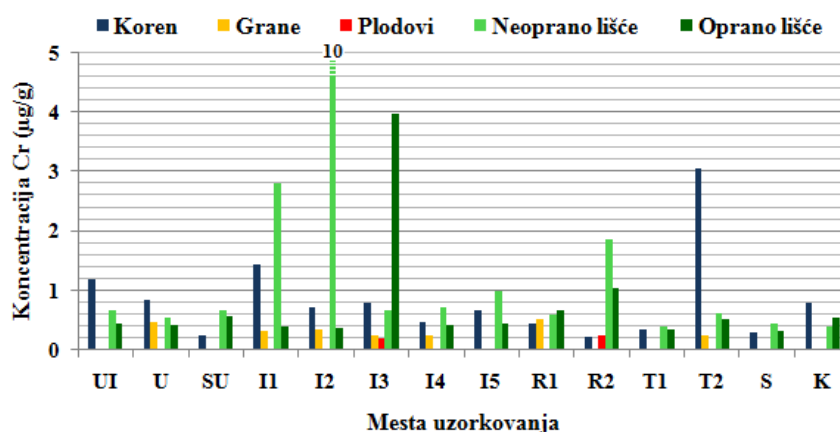
U malom broju uzoraka biljnog materijala šipurka, gloša i trnjine, koncentracije Cr su bile ispod donje granice određivanja (<0,2 µg/g).

Pregled koncentracija Cr u delovima šipurka (koren, grane, plodovi, neoprano i oprano lišće) uzorkovanim na području Bora i okoline, dat je na slici 49. U korenu šipurka najveća koncentracija Cr bila je na mestu T2, u granama i plodovima na mestima iz ruralne zone, dok je u uzorcima neopranog i opranog lišća najveća koncentracija Cr zabeležena na mestima I2 i I3 koja se nalaze u okolini odlagališta raskrivke površinskih kopova Cerovo i Veliki Krivelj. Koncentracije u opranom lišću nisu dostizale toksičnu vrednost za Cr (tabela 1), iako su u pojedinim uzorcima bile iznad normalne vrednosti.

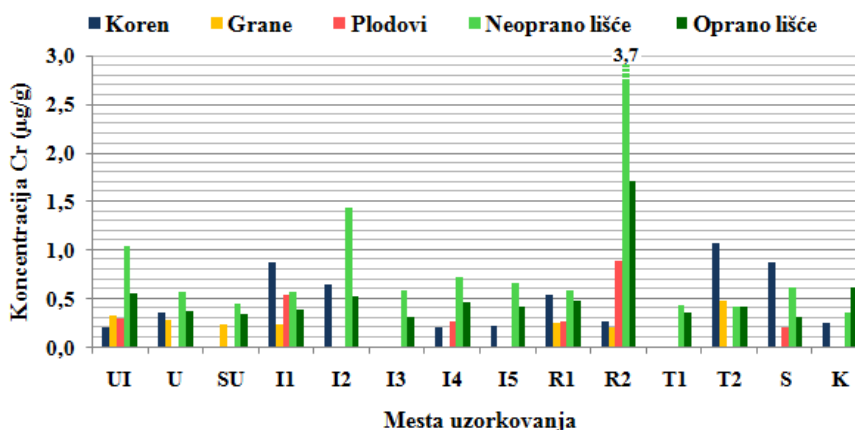
Na slici 50, dat je pregled koncentracija Cr u biljnom materijalu gloša (koren, grane, plodovi, neoprano i oprano lišće) koji je uzorkovan na području Bora i okoline. U korenu i granama gloša najveće koncentracije Cr su bile u uzorcima sa mesta T2 a u



plodovima, neoprano i oprano lišću sa mesta R2. Oba mesta su na pravcu dominantnih vetrova koji transportuju zagađujuće supstance iz rudarsko-metalurške proizvodnje bakra. Najniže koncentracije Cr u neoprano lišću gloga bile su u kontrolnoj zoni, dok su u oprano lišću bile na mestu I3. U oprano lišću koncentracije Cr u pojedinim uzorcima bile su iznad normalne, ali nisu dostizale toksičnu vrednost (tabela 1).

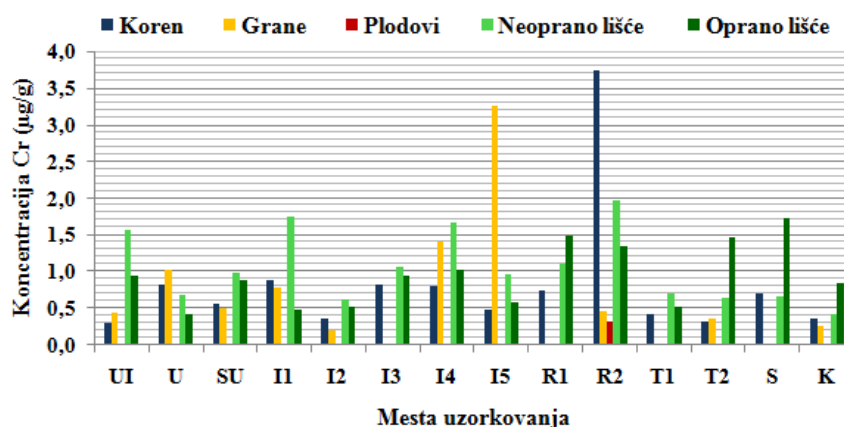


**Slika 49.** Koncentracije Cr ( $\mu\text{g/g}$ ) u korenu, granama, plodovima, neoprano i oprano lišću šipurka na ispitivanom području



**Slika 50.** Koncentracije Cr ( $\mu\text{g/g}$ ) u korenu, granama, plodovima, neoprano i oprano lišću gloga na ispitivanom području

Pregled koncentracija Cr u biljnom materijalu trnjine (koren, grane, plodovi, neoprano i oprano lišće) sa područja Bora i okoline, dat je na slici 51. U korenu trnjine najveća koncentracija Cr bila je u uzorku sa mesta R2, kao i u plodovima i neoprano lišću. Najveće koncentracije Cr u granama i oprano lišću zabeležene su u uzorcima sa mesta I5 i S, koja se nalaze u okolini kamenoloma i prometne saobraćajnice. Kao i u oprano lišću šipurka i gloga, koncentracije Cr u pojedinim uzorcima opranog lišća trnjine bile su iznad normalne, ali nisu dostizale toksičnu vrednost (tabela 1).



**Slika 51.** Koncentracije Cr ( $\mu\text{g/g}$ ) u korenu, granama, plodovima, neoprano i oprano lišću trnjine na ispitivanom području

U tabelama 37, 38 i 39, prikazane su vrednosti faktora obogaćenja biljnog materijala šipurka, gloga i trnjine hromom. Obogaćenje uzoraka ispitivanih biljnih vrsta bilo je umereno u najvećem broju slučajeva. Svega nekoliko uzoraka biljnog materijala je bilo značajno obogaćeno hromom. Najveće vrednosti faktora obogaćenja su zabeležene bar na po jednom mestu u ruralnoj i industrijskoj zoni.

**Tabela 37.** Faktor obogaćenja biljnog materijala šipurka hromom na ispitivanom području

	Koren	Grane	Plodovi	Neoprano lišće	Oprano lišće
<b>UI</b>	1,52	/	/	1,67	0,79
<b>U</b>	1,07	>2,29	/	1,39	0,78
<b>SU</b>	0,32	/	/	1,69	1,03
<b>I1</b>	1,84	>1,53	/	<b>7,07</b>	0,74
<b>I2</b>	0,90	>1,66	/	<b>26,19</b>	0,65
<b>I3</b>	1,01	>1,28	>1,03	1,68	<b>7,25</b>
<b>I4</b>	0,60	>1,28	/	1,78	0,78
<b>I5</b>	0,84	/	/	<b>2,46</b>	0,79
<b>R1</b>	0,57	>2,55	/	1,48	1,23
<b>R2</b>	0,29		>1,20	<b>4,66</b>	1,91
<b>T1</b>	0,45	/	/	0,97	0,61
<b>T2</b>	<b>3,90</b>	>1,27	/	1,54	0,93
<b>S</b>	0,36	/	/	1,13	0,58

Naglašene vrednosti označavaju obogaćenje uzorka hromom (EF>2).

Vrednosti sa predznakom „>” dobijene su deljenjem koncentracije Cr u biljnom materijalu sa određenog mesta sa donjom granicom određivanja Cr u uzorku iz kontrolne zone zbog nedostatka vrednosti.

„/” – koncentracije u biljnom materijalu sa određenog i kontrolnog mesta uzorkovanja su ispod donje granice određivanja.

**Tabela 38.** Faktor obogaćenja biljnog materijala gloga hromom na ispitivanom području

	Koren	Grane	Plodovi	Neoprano lišće	Oprano lišće
<b>UI</b>	0,83	>1,63	>1,47	<b>2,98</b>	0,90
<b>U</b>	1,43	>1,38	/	1,64	0,59
<b>SU</b>	<0,77	>1,21	/	1,28	0,56
<b>I1</b>	<b>3,43</b>	>1,18	>2,71	1,64	0,62
<b>I2</b>	<b>2,54</b>	/	/	<b>4,11</b>	0,84
<b>I3</b>	<0,79	/	/	1,67	0,51
<b>I4</b>	0,79	/	>1,32	<b>2,07</b>	0,75
<b>I5</b>	0,87	/	/	1,90	0,68
<b>R1</b>	<b>2,10</b>	>1,27	>1,33	1,65	0,77
<b>R2</b>	1,04	>1,01	>4,48	<b>10,77</b>	<b>2,76</b>
<b>T1</b>	<0,79	/	/	1,24	0,58
<b>T2</b>	<b>4,23</b>	>2,41	/	1,20	0,67
<b>S</b>	<b>3,41</b>	/	>1,05	1,75	0,52

Naglašene vrednosti označavaju obogaćenje uzorka hromom (EF>2).

Vrednosti sa predznakom „>” dobijene su deljenjem koncentracije Cr u biljnom materijalu sa određenog mesta sa donjom granicom određivanja Cr u uzorku iz kontrolne zone zbog nedostatka vrednosti. Vrednosti sa predznakom „<” dobijene su deljenjem donje granice određivanja Cr u biljnom materijalu sa određenog mesta zbog nedostatka vrednosti sa koncentracijom Cr u uzorku iz kontrolne zone.

„/” – koncentracije u biljnom materijalu sa određenog i kontrolnog mesta uzorkovanja su ispod donje granice određivanja.

**Tabela 39.** Faktor obogaćenja biljnog materijala trnjine hromom na ispitivanom području

	Koren	Grane	Plodovi	Neoprano lišće	Oprano lišće
<b>UI</b>	0,85	1,72	/	<b>3,78</b>	1,12
<b>U</b>	<b>2,31</b>	<b>4,02</b>	/	1,66	0,50
<b>SU</b>	1,61	1,97	/	<b>2,40</b>	1,05
<b>I1</b>	<b>2,52</b>	<b>3,04</b>	/	<b>4,22</b>	0,58
<b>I2</b>	1,05	0,80	/	1,53	0,63
<b>I3</b>	<b>2,34</b>	<0,78	/	<b>2,56</b>	1,13
<b>I4</b>	<b>2,28</b>	<b>5,49</b>	/	<b>4,04</b>	1,20
<b>I5</b>	1,35	<b>12,76</b>	/	<b>2,35</b>	0,69
<b>R1</b>	<b>2,11</b>	<0,78	/	<b>2,68</b>	1,75
<b>R2</b>	<b>10,57</b>	1,84	<b>&gt;5,76</b>	<b>4,74</b>	1,60
<b>T1</b>	1,22	<0,78	/	1,70	0,62
<b>T2</b>	0,89	1,40	/	1,57	1,72
<b>S</b>	<b>2,01</b>	<0,78		1,60	<b>2,03</b>

Naglašene vrednosti označavaju obogaćenje uzorka hromom ( $EF > 2$ ).

Vrednosti sa predznakom „>” dobijene su deljenjem koncentracije Cr u biljnom materijalu sa određenog mesta sa donjom granicom određivanja Cr u uzorku iz kontrolne zone zbog nedostatka vrednosti. Vrednosti sa predznakom „<” dobijene su deljenjem donje granice određivanja Cr u biljnom materijalu sa određenog mesta zbog nedostatka vrednosti sa koncentracijom Cr u uzorku iz kontrolne zone.

„/” – koncentracije u biljnom materijalu sa određenog i kontrolnog mesta uzorkovanja su ispod donje granice određivanja.

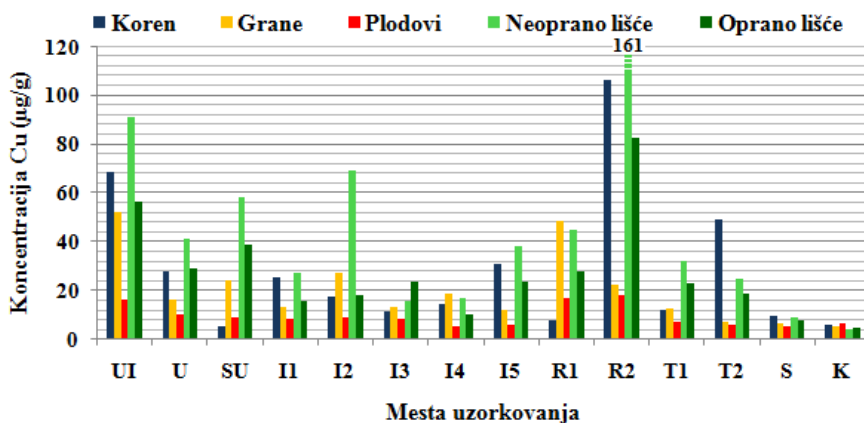
Na osnovu dobijenih podataka, uočava se da su najveće koncentracije Cr u delovima šipurka, gloga i trnjine u uzorcima iz ruralne (R1, R2), turističke (T2), industrijske (I2, I3, I5) i saobraćajne zone (S). Ova mesta uzorkovanja (osim mesta S) su pod uticajem zagađenja iz rudarsko-metalurškog kompleksa ili prašine sa odlagališta raskrivke površinskih kopova i kamenoloma. Međutim, najmanje koncentracije Cr nisu uvek bile zabeležene u uzorcima iz kontrolne zone, već i u uzorcima sa mesta UI, U, SU, R2 i drugih. Ipak, na osnovu vrednosti faktora obogaćenja, ali i prethodno prikazanih koncentracija, može se reći da na prisustvo Cr u uzorcima šipurka, gloga i trnjine imaju uticaj kako antropogene aktivnosti, tako i prirodni sadržaj Cr u zemljištu na kojem biljke rastu.

Upoređivanjem koncentracija u pojedinačnim delovima šipurka, gloga i trnjine, uočava se da su najveće koncentracije uglavnom zabeležene u neoprano lišću, kao i u nekoliko uzoraka korena, dok su najniže bile u većini uzoraka plodova, ali i grana, za sve tri biljne vrste. Poređenjem koncentracija Cr prema biljnoj vrsti, najveće

koncentracije Cr bile su u većini uzoraka trnjine (koren, grane, neoprano i oprano lišće) i u plodu gloga.

### 6.3.6. Bakar u biljnom materijalu šipurka, gloga i trnjine

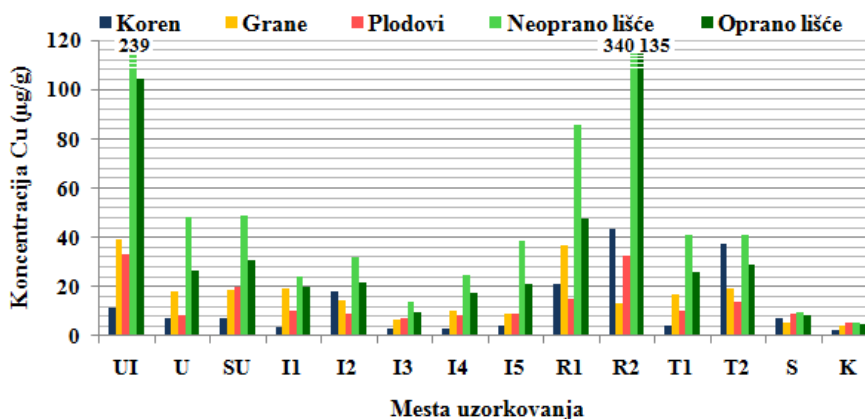
Koncentracije Cu u biljnom materijalu šipurka (koren, grane, plodovi, neoprano i oprano lišće) sa područja Bora i okoline prikazane su na slici 52. Najveće koncentracije Cu u korenu, plodovima, neopranom i opranom lišću šipurka detektovane su u uzorcima na mestu R2, a u granama na mestu uzorkovanja UI. Ova mesta su izložena direktnom uticaju zagađenja poreklom iz proizvodnje bakra, jer su u neposrednoj blizini i na pravcu dominantnih vetrova. Najniže vrednosti koncentracija Cu zabeležene su u većem broju uzoraka šipurka iz kontrolne zone. Koncentracije Cu u opranom lišću šipurka bile su u opsegu toksičnih vrednosti (tabela 1), na čak osam mesta uzorkovanja (UI, U, SU, I3, I5, R1, R2 i T1).



**Slika 52.** Koncentracije Cu ( $\mu\text{g/g}$ ) u korenu, granama, plodovima, neopranom i opranom lišću šipurka na ispitivanom području

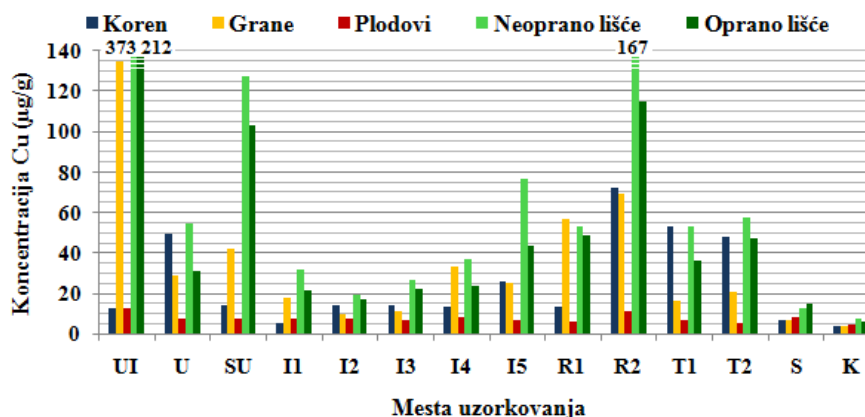
Prikaz koncentracija Cu u biljnom materijalu gloga (koren, grane, plodovi, neoprano i oprano lišće) uzorkovanom na ispitivanom području, dat je na slici 53. U korenu, neopranom i opranom lišću gloga na mestu uzorkovanja R2 zabeležene su najveće koncentracije Cu, dok su koncentracije u granama i plodovima bile najviše na mestu uzorkovanja UI. Najniže vrednosti koncentracija Cu zabeležene su u svim

delovima gloga iz kontrolne zone. Toksične koncentracije Cu u opranom lišću gloga detektovane su na mestima uzorkovanja UI, U, SU, I2, I5, R1, R2, T1 i T2.



**Slika 53.** Koncentracije Cu ( $\mu\text{g/g}$ ) u korenu, granama, plodovima, neopranom i opranom lišću gloga na ispitivanom području

Na slici 54, prikazane su koncentracije Cu u biljnom materijalu trnjine (koren, grane, plodovi, neoprano i oprano lišće) sa područja Bora i okoline. Najveća koncentracija Cu u korenu trnjine bila je na mestu R2, dok su najveće koncentracije u nadzemnim delovima bile na mestu UI. Najniže koncentracije Cu zabeležene su u svim delovima trnjine iz kontrolne zone. Oprano lišće trnjine sa jedanaest mesta uzorkovanja (UI, U, SU, I1, I3, I4, I5, R1, R2, T1 i T2) sadržalo je toksične koncentracije Cu.



**Slika 54.** Koncentracije Cu ( $\mu\text{g/g}$ ) u korenu, granama, plodovima, neopranom i opranom lišću trnjine na ispitivanom području

U tabelama 40, 41 i 42, prikazane su vrednosti faktora obogaćenja biljnog materijala šipurka, gloga i trnjine bakrom. Iz priloženih podataka se zaključuje da je obogaćenje (od umerenog do ekstremnog), prisutno u skoro svim delovima ispitivanih biljaka, na većem broju mesta uzorkovanja. Većina uzoraka korena i grana sve tri biljne vrste je bila obogaćena bakrom. Neoprano i oprano lišće je u najvećoj meri bilo obogaćeno u odnosu na ostale delove biljaka, sa najvećim vrednostima faktora obogaćenja na mestima R2 i UI. Iako je najmanje uzoraka plodova ispitivanih biljaka bio obogaćen bakrom, obogaćenje plodova je bilo najviše izraženo u ruralnoj i urbano-industrijskoj zoni. Uzorci biljnog materijala iz zone saobraćaja u najmanjoj meri su bili obogaćeni bakrom, što ide u prilog tome da je u biljnom materijalu, sa svih ostalih mesta uzorkovanja, poreklo bakra iz rudarsko-metalurške proizvodnje.

Na osnovu dobijenih koncentracija Cu u biljnom materijalu sa ispitivanog područja, uočava se da su najveće koncentracije bile u urbano-industrijskoj i ruralnoj zoni (naročito na mestu R2), koje su pod najvećim uticajem zagađenja iz rudarsko-metalurškog kompleksa, a najmanje u kontrolnoj i saobraćajnoj zoni, za sve tri biljne vrste. Na osnovu ovakvih rezultata, kao i na osnovu vrednosti faktora obogaćenja, može se smatrati da je poreklo Cu u biljnom materijalu u ispitivanoj oblasti iz procesa topljenja rude i proizvodnje bakra, dok su mesta uzorkovanja koja su najbliža industrijskom kompleksu i na pravcu dominantnih vetrova, najugroženija.

**Tabela 40.** Faktor obogaćenja biljnog materijala šipurka bakrom na ispitivanom području

	Koren	Grane	Plodovi	Neoprano lišće	Oprano lišće
UI	<b>11,39</b>	<b>10,40</b>	<b>2,51</b>	<b>20,99</b>	<b>12,18</b>
U	<b>4,62</b>	<b>3,25</b>	1,58	<b>9,46</b>	<b>6,21</b>
SU	0,87	<b>4,77</b>	1,33	<b>13,37</b>	<b>8,42</b>
I1	<b>4,17</b>	<b>2,58</b>	1,31	<b>6,23</b>	<b>3,32</b>
I2	<b>2,86</b>	<b>5,39</b>	1,41	<b>15,89</b>	<b>3,90</b>
I3	1,93	<b>2,67</b>	1,24	<b>3,63</b>	<b>5,10</b>
I4	<b>2,34</b>	<b>3,71</b>	0,77	<b>3,87</b>	<b>2,24</b>
I5	<b>5,13</b>	<b>2,36</b>	0,89	<b>8,79</b>	<b>5,12</b>
R1	1,29	<b>9,69</b>	<b>2,61</b>	<b>10,36</b>	<b>6,06</b>
R2	<b>17,66</b>	<b>4,42</b>	<b>2,79</b>	<b>37,21</b>	<b>17,78</b>
T1	1,97	<b>2,48</b>	1,12	<b>7,34</b>	<b>4,92</b>
T2	<b>8,17</b>	1,37	0,88	<b>5,71</b>	<b>4,06</b>
S	1,60	1,24	0,81	<b>2,05</b>	1,66

Naglašene vrednosti označavaju obogaćenje uzorka bakrom (EF>2).

**Tabela 41.** Faktor obogaćenja biljnog materijala gloga bakrom na ispitivanom području

	Koren	Grane	Plodovi	Neoprano lišće	Oprano lišće
<b>UI</b>	<b>5,02</b>	<b>9,09</b>	<b>6,33</b>	<b>46,26</b>	<b>21,61</b>
<b>U</b>	<b>3,26</b>	<b>4,19</b>	1,63	<b>9,37</b>	<b>5,46</b>
<b>SU</b>	<b>3,22</b>	<b>4,38</b>	<b>3,83</b>	<b>9,40</b>	<b>6,41</b>
<b>I1</b>	1,66	<b>4,44</b>	1,97	<b>4,60</b>	<b>4,09</b>
<b>I2</b>	<b>7,96</b>	<b>3,32</b>	1,66	<b>6,19</b>	<b>4,55</b>
<b>I3</b>	1,31	1,52	1,39	<b>2,62</b>	<b>2,01</b>
<b>I4</b>	1,31	<b>2,31</b>	1,57	<b>4,73</b>	<b>3,59</b>
<b>I5</b>	1,95	<b>2,08</b>	1,67	<b>7,47</b>	<b>4,39</b>
<b>R1</b>	<b>9,28</b>	<b>8,55</b>	<b>2,81</b>	<b>16,59</b>	<b>9,89</b>
<b>R2</b>	<b>19,15</b>	<b>3,09</b>	<b>6,25</b>	<b>65,83</b>	<b>27,95</b>
<b>T1</b>	1,76	<b>3,89</b>	1,93	<b>7,90</b>	<b>5,42</b>
<b>T2</b>	<b>16,70</b>	<b>4,56</b>	<b>2,62</b>	<b>7,93</b>	<b>5,98</b>
<b>S</b>	<b>3,14</b>	1,29	1,69	1,89	1,69

Naglašene vrednosti označavaju obogaćenje uzorka bakrom (EF>2).

**Tabela 42.** Faktor obogaćenja biljnog materijala trnjine bakrom na ispitivanom području

	Koren	Grane	Plodovi	Neoprano lišće	Oprano lišće
<b>UI</b>	<b>3,19</b>	<b>34,19</b>	<b>2,86</b>	<b>47,76</b>	<b>34,39</b>
<b>U</b>	<b>12,40</b>	<b>7,29</b>	1,78	<b>6,97</b>	<b>5,01</b>
<b>SU</b>	<b>3,55</b>	<b>10,65</b>	1,65	<b>16,26</b>	<b>16,79</b>
<b>I1</b>	1,35	<b>4,53</b>	1,65	<b>4,04</b>	<b>3,47</b>
<b>I2</b>	<b>3,45</b>	<b>2,40</b>	1,65	<b>2,46</b>	<b>2,81</b>
<b>I3</b>	<b>3,61</b>	<b>2,81</b>	1,59	<b>3,41</b>	<b>3,56</b>
<b>I4</b>	<b>3,37</b>	<b>8,43</b>	1,89	<b>4,74</b>	<b>3,86</b>
<b>I5</b>	<b>6,55</b>	<b>6,35</b>	1,48	<b>9,79</b>	<b>7,11</b>
<b>R1</b>	<b>3,34</b>	<b>14,42</b>	1,35	<b>6,80</b>	<b>7,97</b>
<b>R2</b>	<b>18,02</b>	<b>17,66</b>	<b>2,49</b>	<b>21,40</b>	<b>18,72</b>
<b>T1</b>	<b>13,25</b>	<b>4,19</b>	1,58	<b>6,81</b>	<b>5,91</b>
<b>T2</b>	<b>11,96</b>	<b>5,34</b>	1,29	<b>7,37</b>	<b>7,73</b>
<b>S</b>	1,78	1,82	1,85	1,66	<b>2,41</b>

Naglašene vrednosti označavaju obogaćenje uzorka bakrom (EF>2).

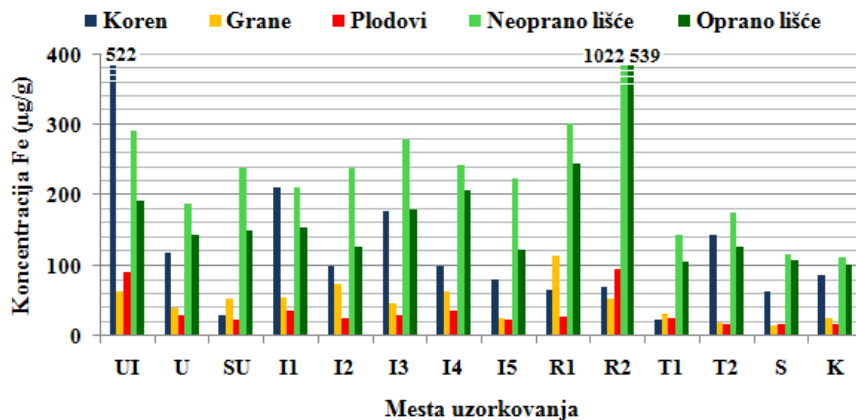
Upoređivanjem koncentracija u pojedinačnim delovima šipurka, gloga i trnjine, uočava se da je najveći sadržaj Cu bio u većini uzoraka neoprano lišća, koje se smatra najpogodnijim delom za korišćenje u biomonitoringu, za sve tri biljne vrste. Upoređivanjem koncentracija Cu između biljnih vrsta, može se reći da je najveći sadržaj



Cu bio u većini uzoraka trnjine (grane, neoprano i oprano lišće), dok je šipurak imao najveće vrednosti u korenu, a glog u plodovima.

### 6.3.7. Gvožđe u biljnom materijalu šipurka, gloga i trnjine

Pregled koncentracija Fe u biljnom materijalu šipurka (koren, grane, plodovi, neoprano i oprano lišće) sa ispitivanog područja, dat je na slici 55. U korenu šipurka, najveća koncentracija Fe zabeležena je u uzorku na mestu UI, dok su u svim nadzemnim delovima najveće koncentracije bile u ruralnoj zoni, naročito na mestu R2. Na mestu R2 su detektovane toksične koncentracije Fe u opranom lišću šipurka. Jedino u uzorcima neoprano i oprano lišća su izmerene najniže koncentracije Fe u kontrolnoj zoni. U ostalim delovima šipurka, minimalne vrednosti su zabeležene u turističkoj zoni uzorkovanja, do koje se takođe dominantnim vetrovima transportuje zagađenje iz industrijskog kompleksa, ali i u saobraćajnoj zoni koja nije pod uticajem industrijskog zagađenja.

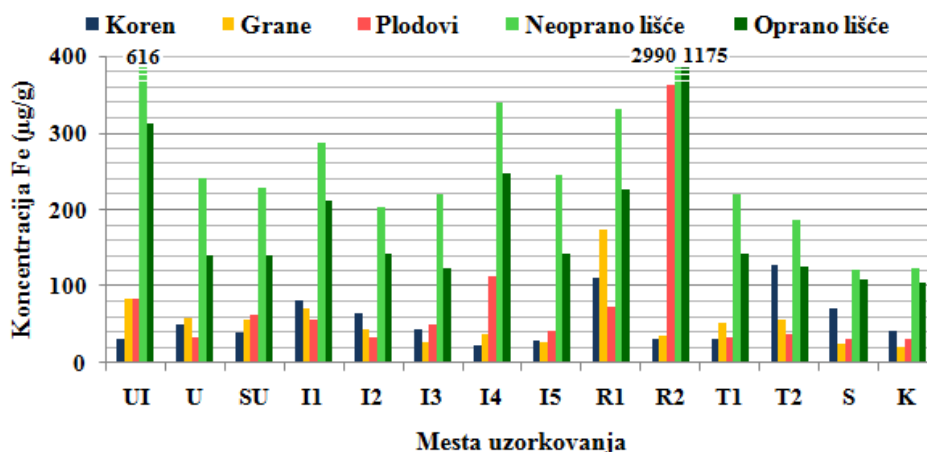


**Slika 55.** Koncentracije Fe ( $\mu\text{g/g}$ ) u korenu, granama, plodovima, neoprano i oprano lišću šipurka na ispitivanom području

Koncentracije Fe u biljnom materijalu gloga (koren, grane, plodovi, neoprano i oprano lišće) sa područja Bora i okoline, prikazane su na slici 56. U korenu gloga, na mestu T2 bila je najveća koncentracija Fe, dok je u svim nadzemnim delovima, najveća koncentracija bila u ruralnoj zoni, u većini uzoraka sa mesta R2. U opranom lišću gloga na mestu R2, detektovane su toksične koncentracije Fe, dok su na svim ostalim mestima

koncentracije bile u opsegu normalnih vrednosti. Najniže vrednosti Fe u korenu zabeležene su na mestu I4, a u nadzemnim delovima na mestima S i K.

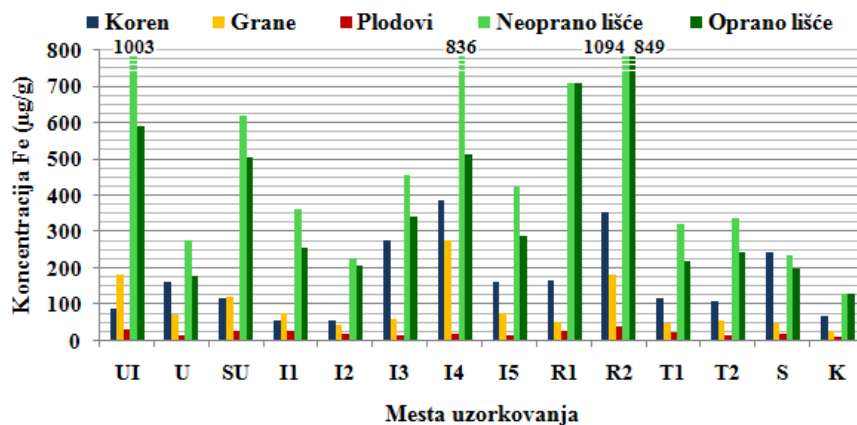
Na slici 57, prikazane su koncentracije Fe u biljnom materijalu trnjine (koren, grane, plodovi, neoprano i oprano lišće) uzorkovanom na ispitivanom području. Koren i grane trnjine sa mesta I4 sadržale su najveće koncentracije Fe, dok su u plodovima, neopranom i opranom lišću najveće koncentracije Fe bile u ruralnoj zoni, na mestu R2. U opranom lišću trnjine toksične koncentracije Fe detektovane su na mestima UI, SU, I4, R1 i R2. Sva navedena mesta su pod uticajem industrijskog zagađenja. Najniže vrednosti Fe u korenu trnjine zabeležene su na mestu I1, a u nadzemnim delovima na kontrolnom mestu.



**Slika 56.** Koncentracije Fe ( $\mu\text{g/g}$ ) u korenu, granama, plodovima, neopranom i opranom lišću gloga na ispitivanom području

Vrednosti faktora obogaćenja biljnog materijala šipurka, gloga i trnjine gvožđem, na ispitivanom području, date su u tabelama 43, 44 i 45. Na osnovu dobijenih vrednosti faktora obogaćenja za sve tri biljne vrste, vidi se da su najbrojniji uzorci grana i neopranog lišća koji su obogaćeni gvožđem, dok je broj obogaćenih uzoraka korena i plodova bio manji. Maksimalne vrednosti faktora obogaćenja zabeležene su na mestima uzorkovanja iz urbano-industrijske i ruralne zone (naročito na mestu R2), do kojih se najčešće putem vetra transportuje zagađenje iz procesa proizvodnje bakra. Na mestu uzorkovanja I4, koje se nalazi u okolini kriveljskog flotacijskog jalovišta, takođe je bilo obogaćenja pojedinih delova biljaka, pa se smatra da resuspendovane čestice ili sadržaj Fe u okolnom zemljištu, imaju uticaja na povećanje koncentracija Fe. Uzorci biljnog

materijala iz zone saobraćaja su u najmanjoj meri bili obogaćeni gvoždem. Ova činjenica, kao i vrednosti faktora obogaćenja biljnog materijala koje su bile najveće na mestima koja su pod uticajem zagađenja iz rudarsko-metalurške proizvodnje bakra (UI, R2), ukazuju da antropogene aktivnosti imaju značajan uticaj na sadržaj Fe u delovima biljaka.



**Slika 57.** Koncentracije Fe ( $\mu\text{g/g}$ ) u korenu, granama, plodovima, neoprano i oprano lišću trnjine na ispitivanom području

**Tabela 55.** Faktor obogaćenja biljnog materijala šipurka gvoždem na ispitivanom području

	Koren	Grane	Plodovi	Neoprano lišće	Oprano lišće
UI	<b>6,09</b>	<b>2,46</b>	<b>5,38</b>	<b>2,60</b>	1,90
U	1,37	1,60	1,73	1,68	1,41
SU	0,34	<b>2,11</b>	1,39	<b>2,14</b>	1,48
I1	<b>2,46</b>	<b>2,15</b>	<b>2,09</b>	1,88	1,53
I2	1,14	<b>2,88</b>	1,50	<b>2,13</b>	1,26
I3	<b>2,07</b>	1,85	1,71	<b>2,50</b>	1,78
I4	1,16	<b>2,53</b>	<b>2,15</b>	<b>2,16</b>	<b>2,05</b>
I5	0,93	1,01	1,29	<b>2,01</b>	1,20
R1	0,76	<b>4,45</b>	1,64	<b>2,70</b>	<b>2,43</b>
R2	0,80	<b>2,06</b>	<b>5,61</b>	<b>9,14</b>	<b>5,35</b>
T1	0,27	1,20	1,51	1,28	1,04
T2	1,67	0,76	0,97	1,57	1,25
S	0,75	0,58	0,99	1,03	1,07

Naglašene vrednosti označavaju obogaćenje uzorka gvoždem ( $EF > 2$ ).

**Tabela 56.** Faktor obogaćenja biljnog materijala gloga gvoždem na ispitivanom području

	Koren	Grane	Plodovi	Neoprano lišće	Oprano lišće
<b>UI</b>	0,76	<b>4,20</b>	<b>2,74</b>	<b>4,97</b>	<b>3,00</b>
<b>U</b>	1,22	<b>2,99</b>	1,10	1,94	1,35
<b>SU</b>	0,92	<b>2,83</b>	<b>2,02</b>	1,85	1,34
<b>I1</b>	1,97	<b>3,57</b>	1,84	<b>2,32</b>	<b>2,03</b>
<b>I2</b>	1,57	<b>2,25</b>	1,11	1,64	1,37
<b>I3</b>	1,04	1,41	1,63	1,78	1,18
<b>I4</b>	0,54	1,93	<b>3,68</b>	<b>2,73</b>	<b>2,37</b>
<b>I5</b>	0,67	1,41	1,37	1,98	1,37
<b>R1</b>	<b>2,69</b>	<b>8,79</b>	<b>2,40</b>	<b>2,67</b>	<b>2,17</b>
<b>R2</b>	0,74	1,84	<b>11,84</b>	<b>24,12</b>	<b>11,30</b>
<b>T1</b>	0,75	<b>2,68</b>	1,05	1,77	1,37
<b>T2</b>	<b>3,09</b>	<b>2,86</b>	1,18	1,50	1,21
<b>S</b>	1,70	1,27	1,00	0,98	1,04

Naglašene vrednosti označavaju obogaćenje uzorka gvoždem (EF>2).

**Tabela 57.** Faktor obogaćenja biljnog materijala trnjine gvoždem na ispitivanom području

	Koren	Grane	Plodovi	Neoprano lišće	Oprano lišće
<b>UI</b>	1,28	<b>6,81</b>	<b>2,72</b>	<b>7,71</b>	<b>4,63</b>
<b>U</b>	<b>2,30</b>	<b>2,69</b>	1,42	<b>2,13</b>	1,41
<b>SU</b>	1,68	<b>4,55</b>	<b>2,49</b>	<b>4,77</b>	<b>3,95</b>
<b>I1</b>	0,81	<b>2,77</b>	<b>2,39</b>	<b>2,79</b>	<b>2,01</b>
<b>I2</b>	0,81	1,64	1,90	1,74	1,62
<b>I3</b>	<b>3,97</b>	<b>2,21</b>	1,49	<b>3,50</b>	<b>2,67</b>
<b>I4</b>	<b>5,56</b>	<b>10,33</b>	1,55	<b>6,43</b>	<b>4,03</b>
<b>I5</b>	<b>2,32</b>	<b>2,86</b>	1,38	<b>3,25</b>	<b>2,27</b>
<b>R1</b>	<b>2,37</b>	1,96	<b>2,31</b>	<b>5,45</b>	<b>5,55</b>
<b>R2</b>	<b>5,12</b>	<b>6,82</b>	<b>3,61</b>	<b>8,42</b>	<b>6,66</b>
<b>T1</b>	1,67	1,77	1,94	<b>2,46</b>	1,71
<b>T2</b>	1,53	<b>2,07</b>	1,46	<b>2,60</b>	1,91
<b>S</b>	<b>3,50</b>	1,74	1,53	1,81	1,55

Naglašene vrednosti označavaju obogaćenje uzorka gvoždem (EF>2).

Prema mestima uzorkovanja, uočava se da su najveće koncentracije Fe u biljnom materijalu zabeležene na mestima uzorkovanja u ruralnoj, urbano-industrijskoj, ali i na najmanje po jednom mestu iz turističke i industrijske zone. Najniže koncentracije Fe bile su u najvećem broju uzoraka iz kontrolne zone, ali i turističke, saobraćajne i industrijske zone. Na osnovu ovakvih rezultata, kao i na osnovu vrednosti faktora

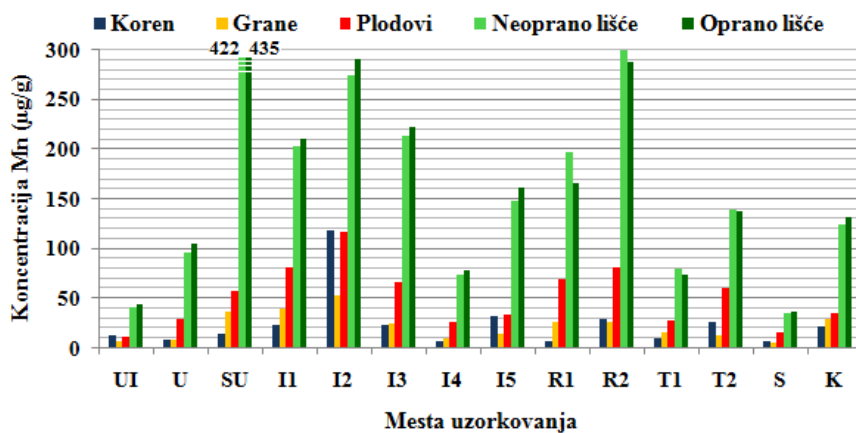
obogaćenja, može se smatrati da je na koncentracije Fe u biljnom materijalu, naročito u uzorcima lišća, uticalo zagađenje iz rudarsko-metalurškog kompleksa, dok se prirodno poreklo Fe u zemljištu najviše odrazilo na njegov sadržaj u korenu biljaka.

Upoređivanjem koncentracija Fe u svim delovima biljaka, zapaža se da su u većini uzoraka neoprano lišće detektovane najveće vrednosti, što čini lišće najpogodnijim delom šipurka, gloga i trnjine za biomonitoring životne sredine zagađene gvoždem. Upoređivanjem koncentracija Fe između vrsta, uočava se da je njegov najveći sadržaj u uzorcima trnjine (koren, grane, neoprano i oprano lišće) i gloga (plodovi).

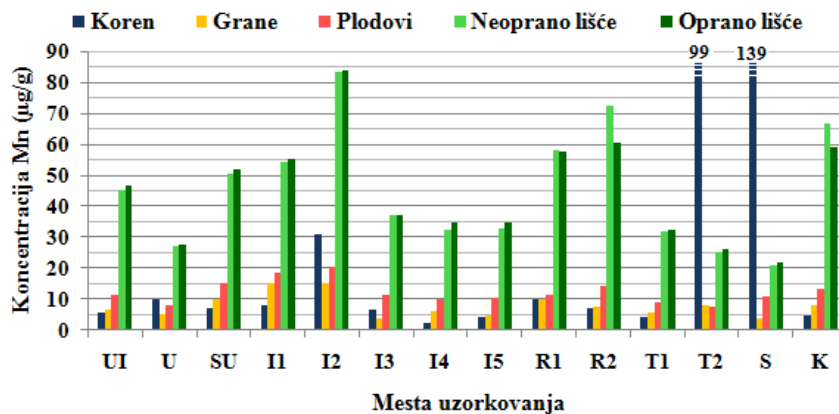
### 6.3.8. Mangan u biljnom materijalu šipurka, gloga i trnjine

Detektovane koncentracije Mn u delovima šipurka (koren, grane, plodovi, neoprano i oprano lišće) uzorkovanim na području Bora i okoline, prikazane su na slici 58. Najveće koncentracije Mn u korenu, granama i plodovima šipurka zabeležene su u uzorcima na mestu I2, koje se nalazi u okolini odlagališta raskrivke površinskog kopa Cerovo. U neoprano i oprano lišću najveće koncentracije Mn bile su na mestu SU koje je u blizini industrijskog kompleksa, ali i na pravcu dominantnih vetrova. U oprano lišću šipurka na mestu SU detektovane su toksične koncentracije Mn (tabela 1). Najniže vrednosti Mn u plodovima šipurka bile su na mestu UI, a u svim ostalim uzorcima na mestu S. Takođe, niže koncentracije Mn, u odnosu na ostala mesta uzorkovanja, uočene su i u uzorcima sa R1 i T1 mesta, dok ni u jednom uzorku iz kontrolne zone nisu uočene najmanje koncentracije Mn.

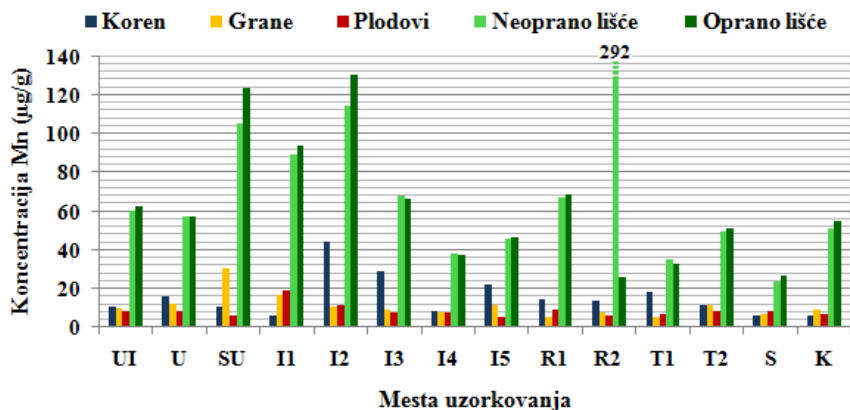
Na slikama 59 i 60, prikazane su koncentracije Mn u biljnom materijalu gloga i trnjine (koren, grane, plodovi, neoprano i oprano lišće) sa ispitivanog područja. Na osnovu dobijenih koncentracija Mn u delovima gloga i trnjine, zaključuje se da nema pravilnosti na kojim mestima uzorkovanja su najveće, odnosno najniže koncentracije. Najveće koncentracije su bile na mestima I1, I2, S, SU i R2, a najmanje na različitim mestima koja su pod uticajem zagađenja iz rudarsko-metalurške proizvodnje (R2, T1) ili sa kamenoloma (I5), ali i na onim mestima koja nisu pod uticajem industrijskog zagađenja (S, K). U oprano lišću gloga i trnjine nije bilo toksičnih koncentracija Mn (tabela 1).



Slika 58. Koncentracije Mn ( $\mu\text{g/g}$ ) u korenu, granama, plodovima, neoprano i oprano lišću šipurka na ispitivanom području



Slika 59. Koncentracije Mn ( $\mu\text{g/g}$ ) u korenu, granama, plodovima, neoprano i oprano lišću gloga na ispitivanom području



Slika 60. Koncentracije Mn ( $\mu\text{g/g}$ ) u korenu, granama, plodovima, neoprano i oprano lišću trnjine na ispitivanom području

U tabelama 46, 47 i 48, prikazane su vrednosti faktora obogaćenja delova šipurka, gloga i trnjine manganom na ispitivanom području. Na osnovu vrednosti faktora obogaćenja sve tri biljne vrste, uočava se da su uzorci uglavnom bili umereno obogaćeni manganom. Nekoliko uzoraka je bilo značajno obogaćeno, dok su vrednosti faktora obogaćenja, koje su zabeležene u korenu gloga na mestima T2 i S ukazivale na veoma visoko obogaćenje ovim elementom.

**Tabela 46.** Faktor obogaćenja biljnog materijala šipurka manganom na ispitivanom području

	Koren	Grane	Plodovi	Neoprano lišće	Oprano lišće
<b>UI</b>	0,59	0,21	0,35	0,34	0,34
<b>U</b>	0,35	0,30	0,83	0,77	0,80
<b>SU</b>	0,62	1,24	1,67	<b>3,42</b>	<b>3,32</b>
<b>I1</b>	1,02	1,33	<b>2,35</b>	1,64	1,60
<b>I2</b>	<b>5,29</b>	1,77	<b>3,40</b>	<b>2,22</b>	<b>2,22</b>
<b>I3</b>	1,04	0,82	1,93	1,73	1,70
<b>I4</b>	0,31	0,35	0,76	0,60	0,60
<b>I5</b>	1,44	0,48	0,97	1,20	1,24
<b>R1</b>	0,30	0,90	2,00	1,59	1,26
<b>R2</b>	1,29	0,89	<b>2,35</b>	<b>2,42</b>	<b>2,19</b>
<b>T1</b>	0,45	0,53	0,80	0,65	0,57
<b>T2</b>	1,18	0,45	1,75	1,12	1,05
<b>S</b>	0,28	0,19	0,46	0,29	0,27

Naglašene vrednosti označavaju obogaćenje uzorka manganom ( $EF > 2$ ).

**Tabela 47.** Faktor obogaćenja biljnog materijala gloga manganom na ispitivanom području

	Koren	Grane	Plodovi	Neoprano lišće	Oprano lišće
<b>UI</b>	1,20	0,85	0,84	0,68	0,79
<b>U</b>	<b>2,17</b>	0,66	0,60	0,41	0,46
<b>SU</b>	1,60	1,24	1,15	0,76	0,88
<b>I1</b>	1,77	1,90	1,39	0,82	0,93
<b>I2</b>	<b>6,75</b>	1,88	1,52	1,25	1,42
<b>I3</b>	1,44	0,49	0,87	0,56	0,63
<b>I4</b>	0,53	0,75	0,75	0,49	0,59
<b>I5</b>	0,90	0,61	0,79	0,49	0,58
<b>R1</b>	<b>2,19</b>	1,24	0,85	0,87	0,98
<b>R2</b>	1,58	0,93	1,06	1,09	1,02
<b>T1</b>	0,91	0,69	0,67	0,48	0,55
<b>T2</b>	<b>21,58</b>	0,98	0,57	0,38	0,44
<b>S</b>	<b>30,28</b>	0,49	0,83	0,31	0,37

Naglašene vrednosti označavaju obogaćenje uzorka manganom ( $EF > 2$ ).

**Tabela 47.** Faktor obogaćenja biljnog materijala trnjine manganom na ispitivanom području

	Koren	Grane	Plodovi	Neoprano lišće	Oprano lišće
<b>UI</b>	1,82	1,11	1,21	1,17	1,13
<b>U</b>	<b>2,68</b>	1,39	1,16	1,12	1,04
<b>SU</b>	1,84	<b>3,43</b>	0,92	<b>2,06</b>	<b>2,25</b>
<b>I1</b>	1,03	1,90	<b>2,69</b>	1,74	1,71
<b>I2</b>	<b>7,43</b>	1,22	1,67	<b>2,24</b>	<b>2,38</b>
<b>I3</b>	<b>4,90</b>	1,06	1,14	1,32	1,20
<b>I4</b>	1,39	0,88	1,08	0,74	0,67
<b>I5</b>	<b>3,68</b>	1,26	0,72	0,90	0,84
<b>R1</b>	<b>2,51</b>	0,63	1,28	1,31	1,25
<b>R2</b>	<b>2,37</b>	0,87	0,85	<b>5,70</b>	0,47
<b>T1</b>	<b>3,05</b>	0,60	0,98	0,69	0,60
<b>T2</b>	1,99	1,31	1,20	0,97	0,93
<b>S</b>	1,04	0,79	1,23	0,46	0,49

Naglašene vrednosti označavaju obogaćenje uzorka manganom ( $EF > 2$ ).

Koncentracije Mn u biljnom materijalu šipurka, glova i trnjine bile su najveće na mestu SU, na mestima u industrijskoj zoni (I1 a naročito I2), mestu R2, ali i S iz zone saobraćaja. Minimalne vrednosti u najvećem broju uzoraka nisu zabeležene u kontrolnoj zoni, već na mestima koja su pod uticajem industrijskog zagađenja. Na osnovu dobijenih koncentracija Mn u biljnom materijalu, kao i vrednosti faktora obogaćenja, zaključuje se da je poreklo Mn uglavnom prirodno, zbog njegovog sadržaja u zemljištu na kojem biljke rastu, ali i da industrijske aktivnost imaju uticaja na povećanje njegovog sadržaja, koji se najviše ogleda na mestima SU, R2, I1 i I2.

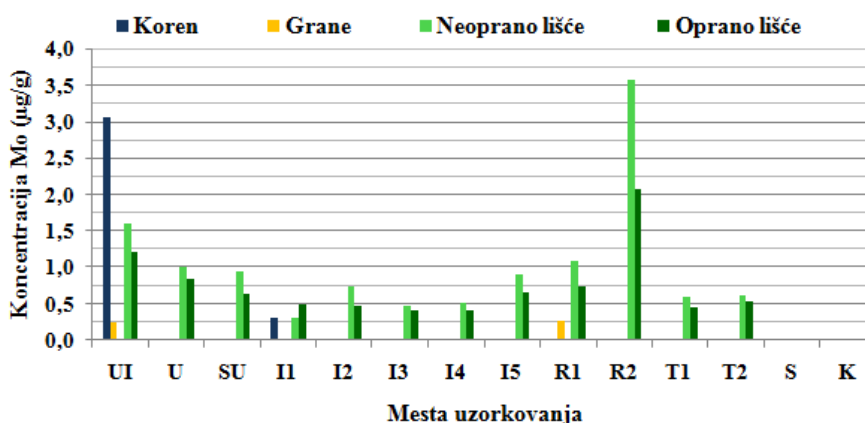
Upoređivanjem koncentracija u pojedinačnim delovima šipurka, glova i trnjine, uočava se da je najveći sadržaj Mn bio u većini uzoraka opranog lišća. Veće koncentracije u opranom u odnosu na neoprano lišće, mogu upravo biti rezultat pranja lišća, prilikom čega se određeni udeo Mn rastvara i naknadno usvaja u lišću. Upoređivanjem koncentracija Mn među biljnim vrstama, može se reći da su najveće koncentracije Mn bile u uzorcima šipurka u odnosu na glog i trjninu.



### 6.3.9. Molibden u biljnom materijalu šipurka, gloga i trnjine

Koncentracije Mo u većini uzoraka korena, grana i plodova, kao i u nekoliko uzoraka neopranog i opranog lišća, sve tri biljne vrste, bile su ispod donje granice određivanja ( $<0,2 \mu\text{g/g}$  za uzorke grana i  $<0,3 \mu\text{g/g}$  za ostale uzorke).

Koncentracije Mo u biljnom materijalu šipurka, gloga i trnjine (koren, grane, plodovi, neoprano i oprano lišće) koji je uzorkovan na ispitivanom području, prikazane su na slikama 61, 62 i 63. Koncentracije koje su detektovane u neopranom i opranom lišću sve tri biljne vrste bile su najveće u zonama do kojih se najčešće transportuje zagađenje nošeno vetrom iz rudarsko-metalurškog kompleksa (urbano-industrijska, urbana, suburbana i ruralna). Koncentracije Mo u opranom lišću nisu dostizale toksične vrednosti (tabela 1) ni za jednu biljnu vrstu.

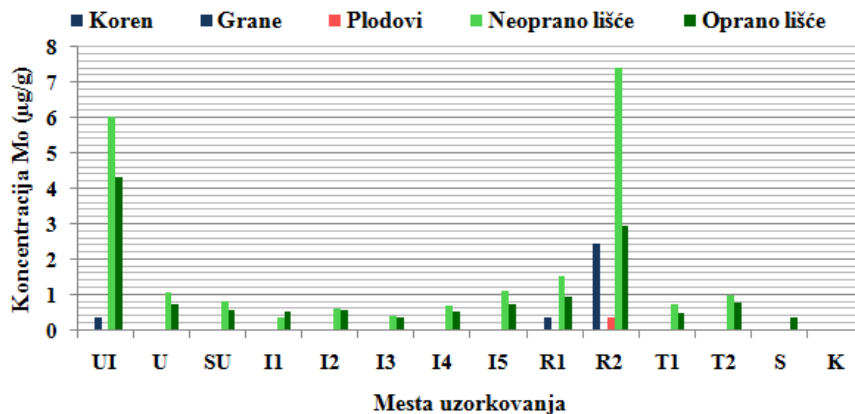


**Slika 61.** Koncentracije Mo ( $\mu\text{g/g}$ ) u korenu, granama, neopranom i opranom lišću šipurka na ispitivanom području

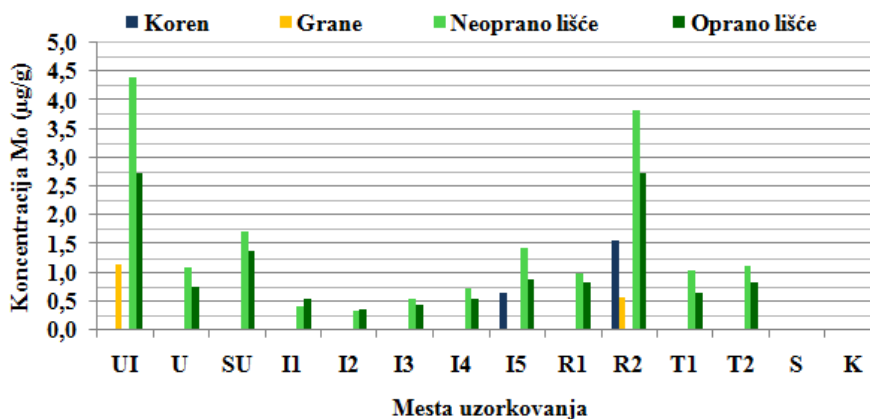
Obogaćenje biljnog materijala šipurka, gloga i trnjine molibdenom (tabele 49, 50 i 51) u najvećem broju uzoraka je bilo umereno, u nekoliko uzoraka značajno, dok je u jednom uzorku obogaćenje bilo veoma visoko (neoprano lišće trnjine).

S obzirom da su najveće koncentracije Mo bile u uzorcima lišća biljaka sa mesta uzorkovanja iz zona koje su pod uticajem zagađenja iz antropogenih aktivnosti, kao i vrednosti faktora obogaćenja, može se smatrati da je Mo u biljnom materijalu poreklom iz rudarsko-metalurške proizvodnje bakra. Takođe, lišće sve tri biljne vrste se može

smatrati pogodnim za korišćenje u biomonitoringu područja koja su zagađena molibdenom.



Slika 62. Koncentracije Mo ( $\mu\text{g/g}$ ) u korenu, granama, plodovima, neoprano i oprano lišću gloga na ispitivanom području



Slika 63. Koncentracije Mo ( $\mu\text{g/g}$ ) u korenu, granama, neoprano i oprano lišću trnjine na ispitivanom području

**Tabela 49.** Faktor obogaćenja biljnog materijala šipurka molibdenom na ispitivanom području

	Koren	Grane	Plodovi	Neoprano lišće	Oprano lišće
<b>UI</b>	<b>&gt;10,21</b>	>1,23	/	<b>&gt;5,37</b>	<b>&gt;4,01</b>
<b>U</b>	/	/	/	<b>&gt;3,357</b>	<b>&gt;2,78</b>
<b>SU</b>	/	/	/	<b>&gt;3,14</b>	<b>&gt;2,14</b>
<b>I1</b>	>1,00		/	>1,06	>1,61
<b>I2</b>	/	/	/	<b>&gt;2,44</b>	>1,58
<b>I3</b>	/	/	/	>1,60	>1,40
<b>I4</b>	/	/	/	>1,74	>1,33
<b>I5</b>	/	/	/	<b>&gt;3,03</b>	<b>&gt;2,21</b>
<b>R1</b>	/	>1,29	/	<b>&gt;3,61</b>	<b>&gt;2,49</b>
<b>R2</b>	/	/	/	<b>&gt;11,91</b>	<b>&gt;6,91</b>
<b>T1</b>	/	/	/	>1,98	>1,48
<b>T2</b>	/	/	/	<b>&gt;2,04</b>	>1,77
<b>S</b>	/	/	/	/	/

Naglašene vrednosti označavaju obogaćenje uzorka molibdenom (EF>2).

Vrednosti sa predznakom „>” dobijene su deljenjem koncentracije Mo u biljnom materijalu sa određenog mesta sa donjom granicom određivanja Mo u uzorku iz kontrolne zone zbog nedostatka vrednosti.

„/” – koncentracije u biljnom materijalu sa određenog i kontrolnog mesta uzorkovanja su ispod donje granice određivanja.

**Tabela 50.** Faktor obogaćenja biljnog materijala gloga molibdenom na ispitivanom području

	Koren	Grane	Plodovi	Neoprano lišće	Oprano lišće
<b>UI</b>	/	/	/	<b>&gt;20,20</b>	<b>&gt;14,46</b>
<b>U</b>	/	/	/	<b>&gt;3,54</b>	<b>&gt;2,48</b>
<b>SU</b>	/	/	/	<b>&gt;2,74</b>	>1,94
<b>I1</b>	/	/	/	>1,29	>1,85
<b>I2</b>	/	/	/	<b>&gt;2,12</b>	>1,97
<b>I3</b>	/	/	/	>1,33	>1,20
<b>I4</b>	/	/	/	<b>&gt;2,32</b>	>1,81
<b>I5</b>	/	/	/	<b>&gt;3,72</b>	<b>&gt;2,52</b>
<b>R1</b>	/	>1,78	/	<b>&gt;5,13</b>	<b>&gt;3,21</b>
<b>R2</b>	<b>&gt;8,18</b>	/	>1,30	<b>&gt;24,65</b>	<b>&gt;9,83</b>
<b>T1</b>	/	/	/	<b>&gt;2,53</b>	>1,61
<b>T2</b>	/	/	/	<b>&gt;3,39</b>	<b>&gt;2,66</b>
<b>S</b>	/	/	/	/	>1,25

Naglašene vrednosti označavaju obogaćenje uzorka molibdenom (EF>2).

Vrednosti sa predznakom „>” dobijene su deljenjem koncentracije Mo u biljnom materijalu sa određenog mesta sa donjom granicom određivanja Mo u uzorku iz kontrolne zone zbog nedostatka vrednosti.

„/” – koncentracije u biljnom materijalu sa određenog i kontrolnog mesta uzorkovanja su ispod donje granice određivanja.

**Tabela 51.** Faktor obogaćenja biljnog materijala trnjine molibdenom na ispitivanom području

	Koren	Grane	Plodovi	Neoprano lišće	Oprano lišće
<b>UI</b>	/	/	/	<b>&gt;14,65</b>	<b>&gt;9,16</b>
<b>U</b>	/	/	/	<b>&gt;3,64</b>	<b>&gt;2,50</b>
<b>SU</b>	/	/	/	<b>&gt;5,71</b>	<b>&gt;4,58</b>
<b>I1</b>	/	/	/	>1,38	>1,81
<b>I2</b>	/	/	/	>1,14	>1,22
<b>I3</b>	/	/	/	>1,82	>1,48
<b>I4</b>	/	/	/	<b>&gt;2,47</b>	>1,82
<b>I5</b>	<b>&gt;2,16</b>	/	/	<b>&gt;4,82</b>	<b>&gt;2,96</b>
<b>R1</b>	/	/	/	<b>&gt;3,32</b>	<b>&gt;2,80</b>
<b>R2</b>	<b>&gt;5,25</b>	<b>&gt;2,88</b>	/	<b>&gt;12,80</b>	<b>&gt;9,09</b>
<b>T1</b>	/	/	/	<b>&gt;3,48</b>	<b>&gt;2,15</b>
<b>T2</b>	/	/	/	<b>&gt;3,72</b>	<b>&gt;2,80</b>
<b>S</b>	/	/	/	/	/

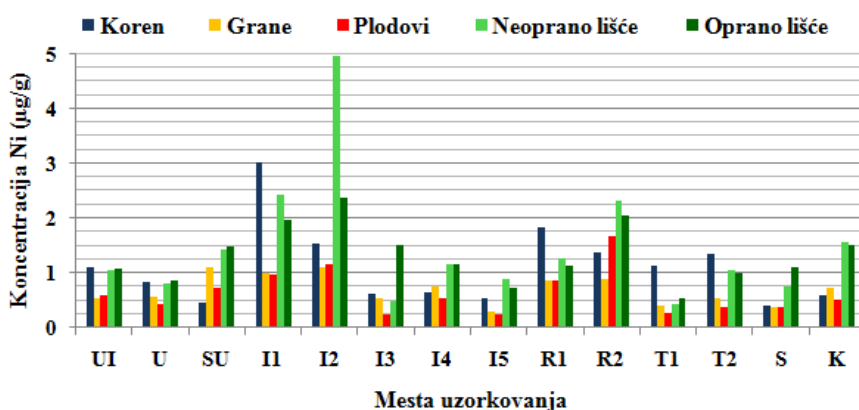
Naglašene vrednosti označavaju obogaćenje uzorka molibdenom (EF>2).

Vrednosti sa predznakom „>” dobijene su deljenjem koncentracije Mo u biljnom materijalu sa određenog mesta sa donjom granicom određivanja Mo u uzorku iz kontrolne zone zbog nedostatka vrednosti.

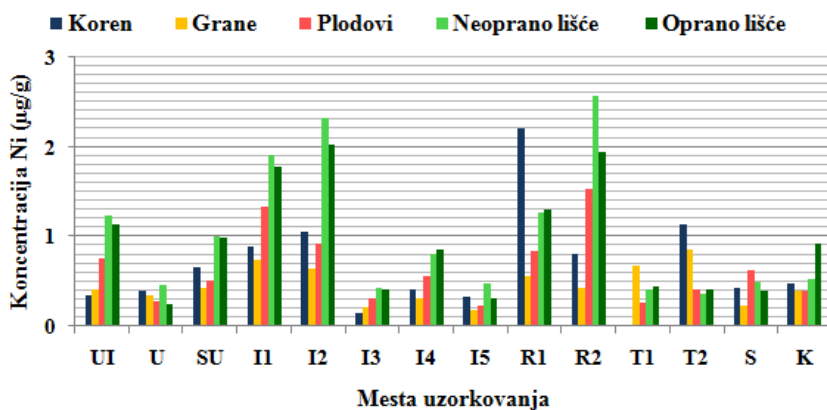
„/” – koncentracije u biljnom materijalu sa određenog i kontrolnog mesta uzorkovanja su ispod donje granice određivanja.

### 6.3.10. Nikl u biljnom materijalu šipurka, gloga i trnjine

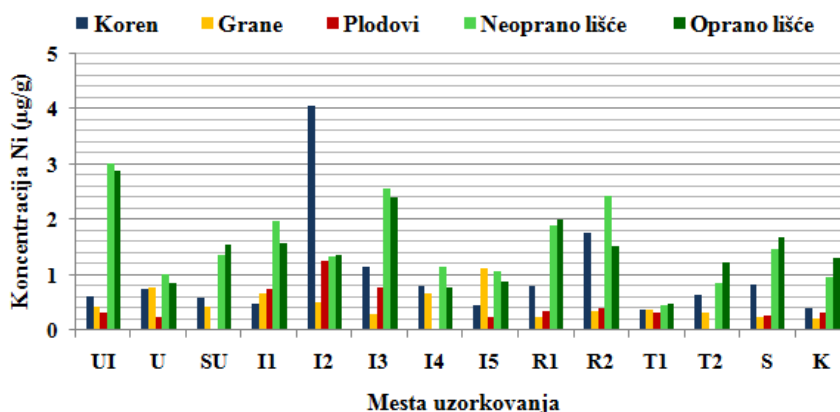
Pregled koncentracija Ni u biljnom materijalu šipurka, gloga i trnjine (koren, grane, plodovi, neoprano i oprano lišće) uzorkovanom na području Bora i okoline, dat je na slikama 64, 65 i 66. Na osnovu vrednosti koncentracija Ni koje su određene u delovima šipurka, gloga i trnjine, utvrđeno je da ne postoji pravilnost na kom su mestu uzorkovanja najveće, odnosno, najmanje koncentracije. Najveće koncentracije Ni najčešće su se javljale u ruralnoj zoni, različitim mestima iz industrijske zone, a nešto ređe i u uzorcima iz suburbane, urbano-industrijske i bar na po jednom mestu iz turističke zone. Međutim, najniže koncentracije Ni, nisu bile u kontrolnoj zoni kako se očekivalo, osim u grani trnjine, već na mestima iz industrijske, turističke i urbane zone. Koncentracije Ni u opranom lišću sve tri biljne vrste bile su u okviru normalnog opsega (tabela 1).



Slika 64. Koncentracije Ni (µg/g) u korenu, granama, plodovima, neoprano i oprano lišću šipurka na ispitivanom području



Slika 65. Koncentracije Ni (µg/g) u korenu, granama, plodovima, neoprano i oprano lišću gloja na ispitivanom području



Slika 66. Koncentracije Ni (µg/g) u korenu, granama, plodovima, neoprano i oprano lišću trnjine na ispitivanom području

U tabelama 52, 53 i 54, date su vrednosti faktora obogaćenja biljnog materijala šipurka, gloga i trnjine niklom. Obogaćenje biljnog materijala je zabeleženo u najvećem broju uzoraka sve tri biljne vrste iz industrijske (najčešće na mestima I1 i I2) i ruralne zone. Vrednosti faktora obogaćenja su bile u opsegu umerenih, osim u dva uzorka (koren šipurka sa mesta I1 i koren trnjine sa mesta I2) u kojima je obogaćenje bilo značajno. Biljni materijal trnjine je nešto više bio obogaćen niklom u odnosu na šipurak i glog.

**Tabela 52.** Faktor obogaćenja biljnog materijala šipurka niklom na ispitivanom području

	Koren	Grane	Plodovi	Neoprano lišće	Oprano lišće
<b>UI</b>	1,88	0,73	1,13	0,67	0,72
<b>U</b>	1,43	0,77	0,84	0,52	0,57
<b>SU</b>	0,76	1,52	1,41	0,91	0,97
<b>I1</b>	<b>5,15</b>	1,39	1,84	1,56	1,30
<b>I2</b>	<b>2,61</b>	1,52	<b>2,22</b>	<b>3,19</b>	1,56
<b>I3</b>	1,06	0,74	0,44	0,31	1,00
<b>I4</b>	1,09	1,04	1,01	0,75	0,76
<b>I5</b>	0,91	0,39	0,45	0,57	0,48
<b>R1</b>	<b>3,11</b>	1,17	1,66	0,81	0,74
<b>R2</b>	<b>2,34</b>	1,22	<b>3,19</b>	1,48	1,34
<b>T1</b>	1,91	0,54	0,50	0,28	0,35
<b>T2</b>	<b>2,27</b>	0,73	0,69	0,67	0,65
<b>S</b>	0,69	0,50	0,71	0,49	0,73

Naglašene vrednosti označavaju obogaćenje uzorka niklom (EF>2).

Dobijeni rezultati ukazuju da su koncentracije Ni u biljnom materijalu šipurka, gloga i trnjine veće u zonama koje su pod uticajem zagađenja poreklom iz rudarsko-metalurške proizvodnje. Međutim, u nekim uzorcima upravo sa ovih mesta koncentracije su niže nego u kontrolnoj zoni. Na osnovu toga, može se smatrati da na koncentracije Ni u delovima biljaka imaju uticaja prirodni sadržaj ovog elementa u zemljištu na kojem biljke rastu i iz kojeg ga usvajaju, ali i antropogene aktivnosti koje doprinose većim koncentracijama Ni u uzorcima sa mesta koja su u blizini industrijskih postrojenja za dobijanje bakra, površinskog kopa ili na pravcu dominantnih vetrova. Vrednostima faktora obogaćenja je ovakav zaključak i potvrđen.

**Tabela 53.** Faktor obogaćenja biljnog materijala gloga niklom na ispitivanom području

	Koren	Grane	Plodovi	Neoprano lišće	Oprano lišće
<b>UI</b>	0,70	1,05	1,93	<b>2,37</b>	1,23
<b>U</b>	0,83	0,86	0,72	0,88	0,27
<b>SU</b>	1,36	1,08	1,27	1,94	1,07
<b>I1</b>	1,83	1,88	<b>3,34</b>	<b>3,66</b>	1,94
<b>I2</b>	<b>2,17</b>	1,62	<b>2,30</b>	<b>4,45</b>	<b>2,21</b>
<b>I3</b>	0,32	0,54	0,79	0,81	0,45
<b>I4</b>	0,85	0,78	1,42	1,54	0,93
<b>I5</b>	0,68	0,46	0,58	0,90	0,34
<b>R1</b>	<b>4,58</b>	1,43	<b>2,12</b>	<b>2,43</b>	1,42
<b>R2</b>	1,68	1,10	<b>3,87</b>	<b>4,93</b>	<b>2,11</b>
<b>T1</b>	<0,41	1,71	0,68	0,79	0,49
<b>T2</b>	<b>2,35</b>	<b>2,18</b>	1,04	0,69	0,45
<b>S</b>	0,88	0,60	1,58	0,96	0,42

Naglašene vrednosti označavaju obogaćenje uzorka niklom ( $EF > 2$ ).

Vrednosti sa predznakom „<” dobijene su deljenjem donje granice određivanja Ni u biljnom materijalu sa određenog mesta zbog nedostatka vrednosti sa koncentracijom Ni u uzorku iz kontrolne zone.

**Tabela 54.** Faktor obogaćenja biljnog materijala trnjine niklom na ispitivanom području

	Koren	Grane	Plodovi	Neoprano lišće	Oprano lišće
<b>UI</b>	1,49	1,96	0,97	<b>3,13</b>	<b>2,23</b>
<b>U</b>	1,86	<b>3,42</b>	0,74	1,07	0,67
<b>SU</b>	1,43	1,88	<0,61	1,40	1,19
<b>I1</b>	1,18	<b>2,99</b>	<b>2,30</b>	<b>2,05</b>	1,21
<b>I2</b>	<b>10,00</b>	<b>2,24</b>	<b>3,83</b>	1,39	1,05
<b>I3</b>	<b>2,84</b>	1,36	<b>2,39</b>	<b>2,66</b>	1,85
<b>I4</b>	1,95	<b>3,02</b>	<0,61	1,19	0,60
<b>I5</b>	1,10	<b>4,97</b>	0,71	1,10	0,69
<b>R1</b>	1,96	1,02	1,03	1,96	1,54
<b>R2</b>	<b>4,34</b>	1,54	1,24	<b>2,52</b>	1,18
<b>T1</b>	0,91	1,70	0,98	0,47	0,38
<b>T2</b>	1,61	1,44	<0,61	0,89	0,94
<b>S</b>	<b>2,04</b>	1,07	0,80	1,51	1,30

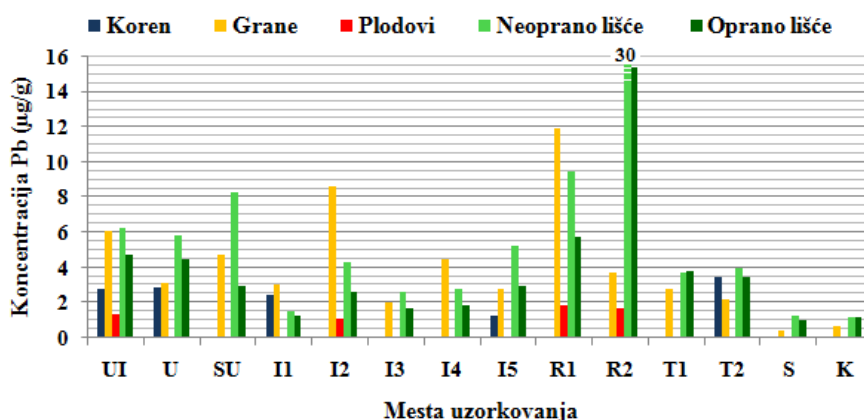
Naglašene vrednosti označavaju obogaćenje uzorka niklom ( $EF > 2$ ).

Vrednosti sa predznakom „<” dobijene su deljenjem donje granice određivanja Ni u biljnom materijalu sa određenog mesta zbog nedostatka vrednosti sa koncentracijom Ni u uzorku iz kontrolne zone.

Upoređivanjem koncentracija Ni u svim delovima ispitivanih biljaka, zapaža se da su uglavnom u neoprano lišću, ali i u uzorcima opranog lišća i korena, detektovane najveće vrednosti. Međutim, koncentracije Ni nisu uvek bile najveće u uzorcima sa mesta koja su pod direktnim uticajem zagađenja iz industrije, niti najniže u kontrolnoj zoni, zbog čega se ne može sa sigurnošću reći da li su delovi ispitivanih biljnih vrsta pogodni za svrhe biomonitoringa. Upoređivanjem između biljnih vrsta, najveće koncentracije nikla su bile u korenu i granama šipurka, dok su u ostalim uzorcima koncentracije bile približno jednake.

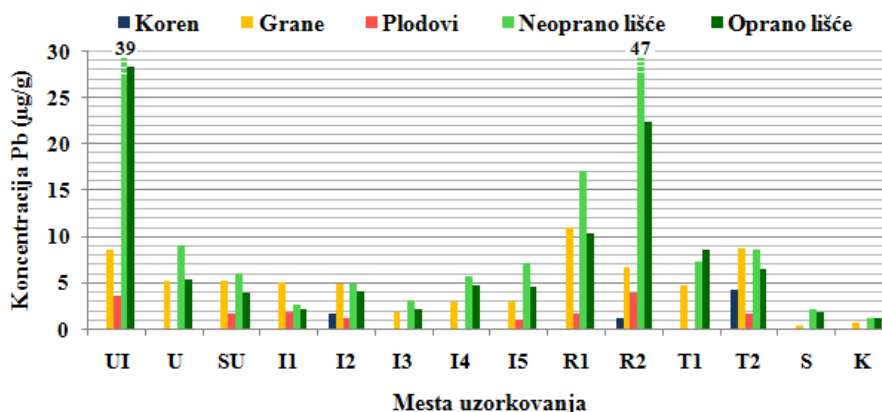
### 6.3.11. Olovo u biljnom materijalu šipurka, gloga i trnjine

Detektovane koncentracije Pb u biljnom materijalu šipurka, gloga i trnjine (koren, grane, plodovi, neoprano i oprano lišće) sa ispitivanog područja, prikazane su na slikama 67, 68 i 69. Koncentracije Pb u korenu sve tri biljne vrste bile su najveće na mestu uzorkovanja T2, dok su najveće koncentracije u nadzemnim delovima bile na mestima u ruralnoj i urbano-industrijskoj zoni. Koncentracije u opranom lišću šipurka, gloga i trnjine nisu dostizale toksične vrednosti na osnovu granica datih u tabeli 1. Najniže koncentracije Pb bile su u najvećem broju uzoraka iz kontrolne i zone saobraćaja za sve tri biljne vrste.

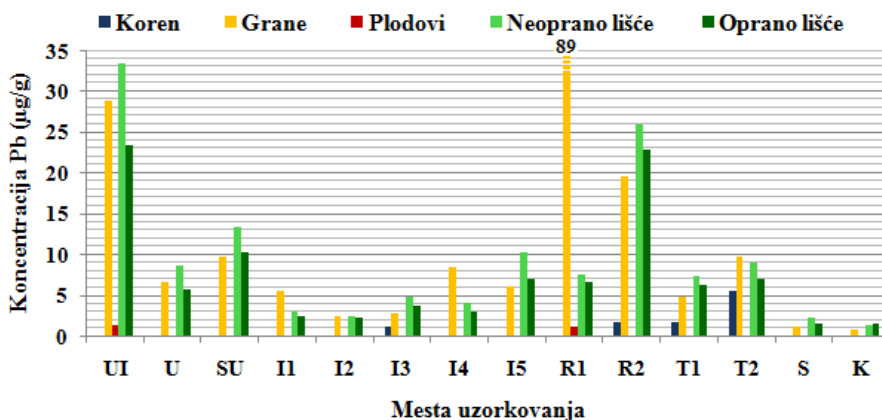


**Slika 67.** Koncentracije Pb ( $\mu\text{g/g}$ ) u korenu, granama, plodovima, neoprano i oprano lišću šipurka na ispitivanom području





**Slika 68.** Koncentracije Pb ( $\mu\text{g/g}$ ) u korenu, granama, plodovima, neoprano i oprano lišću gloga na ispitivanom području



**Slika 69.** Koncentracije Pb ( $\mu\text{g/g}$ ) u korenu, granama, plodovima, neoprano i oprano lišću trnjine na ispitivanom području

Vrednosti faktora obogaćenja biljnog materijala šipurka, gloga i trnjine olovom na ispitivanom području, prikazane su u tabelama 55, 56 i 57. Obogaćenje delova biljaka je zabeleženo na skoro svim mestima uzorkovanja, izuzev u zoni saobraćaja, što je bilo suprotno očekivanju, zbog višedecenijske upotrebe goriva koje je sadržalo olovo. Vrednosti faktora obogaćenja olovom kretale su se u opsegu od umerenog do ekstremnog. Grane i lišće biljaka su u najvećoj meri bile obogaćene olovom, sa najvećim vrednostima faktora obogaćenja u urbano-industrijskoj, ruralnoj i suburbanj zoni. Plodovi gloga su bili obogaćeni olovom samo na mestima UI i R2, dok su vrednosti faktora obogaćenja za plodove šipurka i trnjine bile  $<2$ .

**Tabela 55.** Faktor obogaćenja biljnog materijala šipurka olovom na ispitivanom području

	<b>Koren</b>	<b>Grane</b>	<b>Plodovi</b>	<b>Neoprano lišće</b>	<b>Oprano lišće</b>
<b>UI</b>	<b>&gt;2,74</b>	<b>9,10</b>	<b>&gt;1,36</b>	<b>5,53</b>	<b>3,89</b>
<b>U</b>	<b>&gt;2,88</b>	<b>4,73</b>	/	<b>5,14</b>	<b>3,71</b>
<b>SU</b>	/	<b>7,12</b>	/	<b>7,33</b>	<b>2,41</b>
<b>I1</b>	<b>&gt;2,46</b>	<b>4,55</b>	/	1,31	1,05
<b>I2</b>	/	<b>13,04</b>	<b>&gt;1,05</b>	<b>3,83</b>	<b>2,16</b>
<b>I3</b>	/	<b>3,02</b>	/	<b>2,30</b>	1,40
<b>I4</b>	/	<b>6,69</b>	/	<b>2,43</b>	1,52
<b>I5</b>	<b>&gt;1,27</b>	<b>4,16</b>	/	<b>4,63</b>	<b>2,44</b>
<b>R1</b>	/	<b>17,93</b>	<b>&gt;1,83</b>	<b>8,36</b>	<b>4,75</b>
<b>R2</b>	/	<b>5,62</b>	<b>&gt;1,63</b>	<b>26,96</b>	<b>12,75</b>
<b>T1</b>	/	<b>4,22</b>	/	<b>3,25</b>	<b>3,16</b>
<b>T2</b>	<b>&gt;3,47</b>	<b>3,34</b>	/	<b>3,46</b>	<b>2,89</b>
<b>S</b>	/	0,61	/	1,11	0,82

Naglašene vrednosti označavaju obogaćenje uzorka olovom (EF>2).

Vrednosti sa predznakom „>” dobijene su deljenjem koncentracije Pb u biljnom materijalu sa određenog mesta sa donjom granicom određivanja Pb u uzorku iz kontrolne zone zbog nedostatka vrednosti.

„/” – koncentracije u biljnom materijalu sa određenog i kontrolnog mesta uzorkovanja su ispod donje granice određivanja.

**Tabela 56.** Faktor obogaćenja biljnog materijala gloga olovom na ispitivanom području

	<b>Koren</b>	<b>Grane</b>	<b>Plodovi</b>	<b>Neoprano lišće</b>	<b>Oprano lišće</b>
<b>UI</b>	/	<b>10,90</b>	<b>&gt;3,65</b>	<b>35,33</b>	<b>23,69</b>
<b>U</b>	/	<b>6,53</b>	/	<b>8,15</b>	<b>4,54</b>
<b>SU</b>	/	<b>6,68</b>	<b>&gt;1,66</b>	<b>5,43</b>	<b>3,26</b>
<b>I1</b>	/	<b>6,51</b>	<b>&gt;1,87</b>	<b>2,40</b>	1,85
<b>I2</b>	<b>&gt;1,73</b>	<b>6,26</b>	<b>&gt;1,22</b>	<b>4,44</b>	<b>3,36</b>
<b>I3</b>	/	<b>2,29</b>	/	<b>2,81</b>	1,86
<b>I4</b>	/	<b>3,78</b>	/	<b>5,12</b>	<b>3,93</b>
<b>I5</b>	/	<b>3,83</b>	<b>&gt;1,07</b>	<b>6,48</b>	<b>3,85</b>
<b>R1</b>	/	<b>13,93</b>	<b>&gt;1,67</b>	<b>15,32</b>	<b>8,62</b>
<b>R2</b>	<b>&gt;1,23</b>	<b>8,40</b>	<b>&gt;3,85</b>	<b>42,28</b>	<b>18,69</b>
<b>T1</b>	/	<b>6,08</b>	/	<b>6,49</b>	<b>7,13</b>
<b>T2</b>	<b>&gt;4,22</b>	<b>11,21</b>	<b>&gt;1,74</b>	<b>7,71</b>	<b>5,36</b>
<b>S</b>	/	0,57	/	1,92	1,48

Naglašene vrednosti označavaju obogaćenje uzorka olovom (EF>2).

Vrednosti sa predznakom „>” dobijene su deljenjem koncentracije Pb u biljnom materijalu sa određenog mesta sa donjom granicom određivanja Pb u uzorku iz kontrolne zone zbog nedostatka vrednosti.

„/” – koncentracije u biljnom materijalu sa određenog i kontrolnog mesta uzorkovanja su ispod donje granice određivanja.

**Tabela 57.** Faktor obogaćenja biljnog materijala trnjine olovom na ispitivanom području

	Koren	Grane	Plodovi	Neoprano lišće	Oprano lišće
<b>UI</b>	/	<b>33,91</b>	>1,38	<b>24,28</b>	<b>15,81</b>
<b>U</b>	/	<b>7,89</b>	/	<b>6,20</b>	<b>3,89</b>
<b>SU</b>	/	<b>11,35</b>	/	<b>9,70</b>	<b>6,91</b>
<b>I1</b>	/	<b>6,42</b>	/	<b>2,18</b>	1,60
<b>I2</b>	/	<b>2,95</b>	/	1,82	1,57
<b>I3</b>	>1,16	<b>3,40</b>	/	<b>3,52</b>	<b>2,52</b>
<b>I4</b>	/	<b>9,82</b>	/	<b>2,98</b>	<b>2,04</b>
<b>I5</b>	/	<b>7,19</b>	/	<b>7,47</b>	<b>4,69</b>
<b>R1</b>	/	<b>105,03</b>	>1,16	<b>5,47</b>	<b>4,55</b>
<b>R2</b>	>1,63	<b>23,04</b>	/	<b>18,77</b>	<b>15,48</b>
<b>T1</b>	>1,68	<b>5,73</b>	/	<b>5,38</b>	<b>4,29</b>
<b>T2</b>	> <b>5,51</b>	<b>11,41</b>	/	<b>6,47</b>	<b>4,70</b>
<b>S</b>	/	1,31	/	1,69	1,06

Naglašene vrednosti označavaju obogaćenje uzorka olovom (EF>2).

Vrednosti sa predznakom „>” dobijene su deljenjem koncentracije Pb u biljnom materijalu sa određenog mesta sa donjom granicom određivanja Pb u uzorku iz kontrolne zone zbog nedostatka vrednosti.

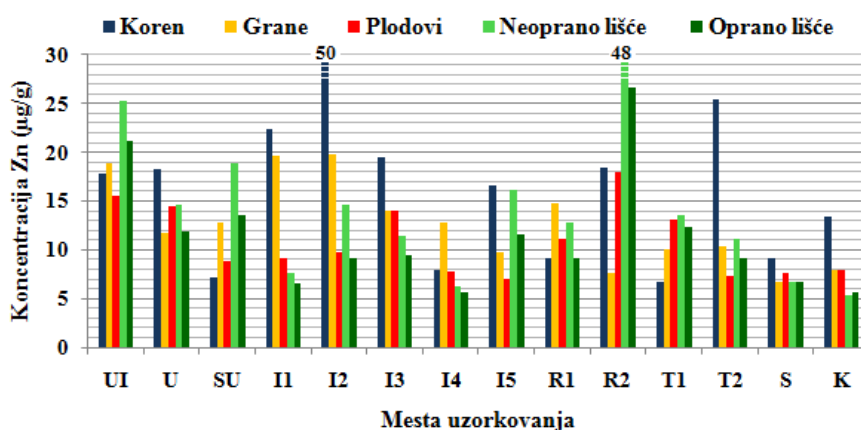
„/” – koncentracije u biljnom materijalu sa određenog i kontrolnog mesta uzorkovanja su ispod donje granice određivanja.

Na osnovu dobijenih koncentracija Pb u uzorcima biljnog materijala koje su najveće u urbano-industrijskoj i ruralnoj zoni (naročito na mestu R2), a najmanje uglavnom u kontrolnoj i zoni saobraćaja, kao i na osnovu vrednosti faktora obogaćenja u pomenutim zonama, može se smatrati da je poreklo Pb iz rudarsko-metalurškog kompleksa za proizvodnju bakra.

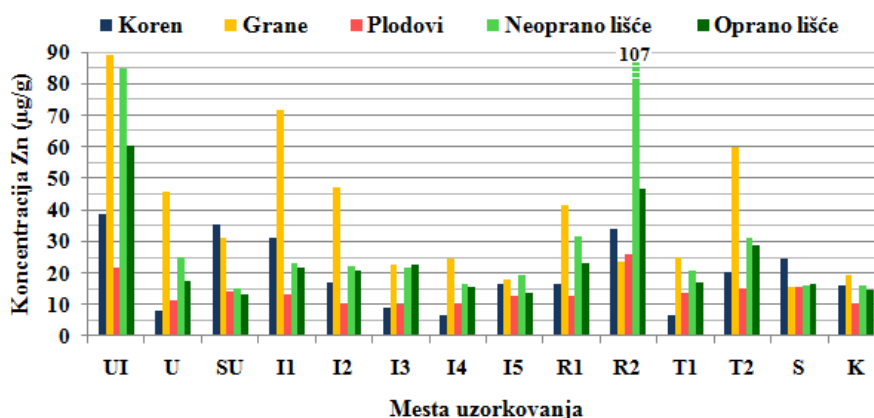
Upoređujući koncentracije u pojedinačnim delovima sve tri biljne vrste, uočava se da su u većem broju uzoraka neoprano lišće detektovane najveće koncentracije Pb u odnosu na ostale delove, što lišće čini pogodnim za svrhe biomonitoringa olova u životnoj sredini. Upoređivanjem koncentracija Pb između biljnih vrsta, zapaža se da je najveći sadržaj Pb detektovan u većini uzoraka trnjine (koren, grane, neoprano i oprano lišće), dok je glog sadržao najveće koncentracije samo u plodovima.

### 6.3.12. Cink u biljnom materijalu šipurka, gloga i trnjine

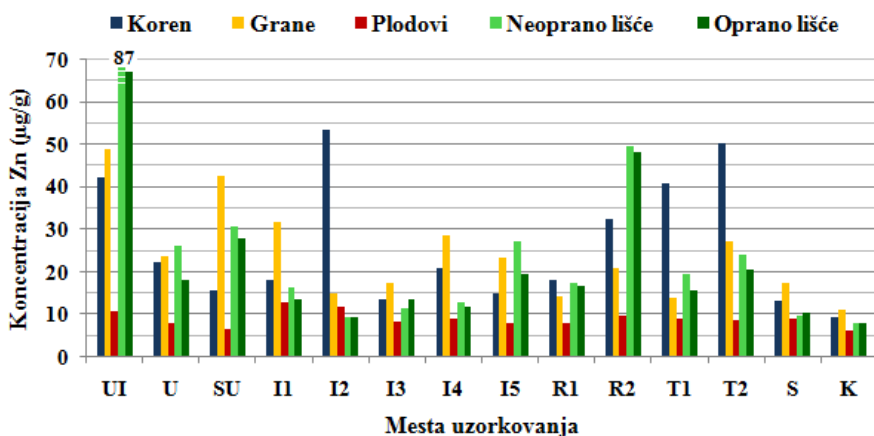
Detektovane koncentracije Zn u biljnom materijalu šipurka, gloga i trnjine (koren, grane, plodovi, neoprano i oprano lišće) sa ispitivanog područja, ukazale su da ne postoji definisana pravilnost na kojim mestima uzorkovanja su najveće, odnosno najmanje koncentracije (slike 70, 71 i 72). Najveće koncentracije cinka u korenu i granama sve tri biljne vrste bile su na bar po jednom mestu iz industrijske zone i to iz okoline odlagališta raskrivke površinskog kopa Cerovo (mesta I1 i I2). U skoro svim uzorcima plodova, neoprano i oprano lišća ispitivanih biljaka, najveće detektovane koncentracije bile su na mestima R2 i UI koja su pod najvećim uticajem zagađenja poreklom iz procesa proizvodnje bakra. Međutim, prema podacima iz tabele 1, koncentracije Zn u opranom lišću u gotovo svim uzorcima bile su u deficitu. Deficit koncentracija Zn u lišću biljaka je moguća posledica antagonizma između Zn i Cu, koji se ogleda kroz inhibiciju usvajanja jednog elementa (u ovom slučaju Zn) usvajanjem drugog elementa (Cu) u većim koncentracijama u biljkama. Takođe, Zn je u mogućem antagonizmu i sa As, Cd i Fe koji su takođe bili prisutni u lišću ispitivanih biljaka u visokim koncentracijama (Kabata-Pendias, 2011). Najniže koncentracije Zn u najvećem broju uzoraka bile su na mestu K, ali i na mestima I5, I3, SU, T1 i S.



**Slika 70.** Koncentracije Zn ( $\mu\text{g/g}$ ) u korenu, granama, plodovima, neoprano i oprano lišću šipurka na ispitivanom području



**Slika 71.** Koncentracije Zn ( $\mu\text{g/g}$ ) u korenu, granama, plodovima, neopranom i opranom lišću gloga na ispitivanom području



**Slika 72.** Koncentracije Zn ( $\mu\text{g/g}$ ) u korenu, granama, plodovima, neopranom i opranom lišću trnjine na ispitivanom području

U tabelama 58, 59 i 60, prikazane su vrednosti faktora obogaćenja biljnog materijala šipurka, gloga i trnjine cinkom na ispitivanom području. Vrednosti faktora obogaćenja kretale su se u opsegu od umerenog do značajnog obogaćenja. Iz priloženih podataka se uočava da je obogaćenje biljnog materijala (naročito lišća) najveće na mestima UI i R2, ali da postoji i na ostalim mestima u određenom broju uzoraka. Uzorci plodova sve tri biljke su u najmanjoj meri bili obogaćeni u odnosu na ostale delove biljaka. Biljni materijal trnjine je u najvećoj meri bio obogaćen cinkom, u odnosu na šipurak i glog.

**Tabela 58.** Faktor obogaćenja biljnog materijala šipurka cinkom na ispitivanom području

	Koren	Grane	Plodovi	Neoprano lišće	Oprano lišće
<b>UI</b>	1,33	<b>2,38</b>	1,97	<b>4,76</b>	<b>3,77</b>
<b>U</b>	1,37	1,48	1,84	<b>2,74</b>	<b>2,12</b>
<b>SU</b>	0,54	1,61	1,13	<b>3,55</b>	<b>2,43</b>
<b>I1</b>	1,67	<b>2,46</b>	1,16	1,45	1,17
<b>I2</b>	<b>3,73</b>	<b>2,49</b>	1,25	<b>2,76</b>	1,64
<b>I3</b>	1,46	1,76	1,78	<b>2,14</b>	1,69
<b>I4</b>	0,60	1,61	0,98	1,18	1,00
<b>I5</b>	1,25	1,23	0,89	<b>3,03</b>	<b>2,07</b>
<b>R1</b>	0,69	1,85	1,41	<b>2,41</b>	1,63
<b>R2</b>	1,37	0,95	<b>2,28</b>	<b>9,15</b>	<b>4,76</b>
<b>T1</b>	0,50	1,26	1,67	<b>2,56</b>	<b>2,20</b>
<b>T2</b>	1,90	1,30	0,93	<b>2,09</b>	1,63
<b>S</b>	0,68	0,85	0,97	1,25	1,21

Naglašene vrednosti označavaju obogaćenje uzorka cinkom (EF>2).

**Tabela 59.** Faktor obogaćenja biljnog materijala gloga cinkom na ispitivanom području

	Koren	Grane	Plodovi	Neoprano lišće	Oprano lišće
<b>UI</b>	<b>2,42</b>	<b>4,58</b>	<b>2,05</b>	<b>5,30</b>	<b>4,10</b>
<b>U</b>	0,48	<b>2,34</b>	1,07	1,54	1,18
<b>SU</b>	<b>2,22</b>	1,60	1,36	0,94	0,89
<b>I1</b>	1,95	<b>3,68</b>	1,24	1,43	1,49
<b>I2</b>	1,08	<b>2,43</b>	0,98	1,37	1,40
<b>I3</b>	0,55	1,16	0,93	1,33	1,55
<b>I4</b>	0,42	1,25	1,00	1,02	1,06
<b>I5</b>	1,03	0,92	1,22	1,20	0,93
<b>R1</b>	1,02	<b>2,14</b>	1,22	1,96	1,58
<b>R2</b>	<b>2,14</b>	1,21	<b>2,49</b>	<b>6,70</b>	<b>3,17</b>
<b>T1</b>	0,40	1,28	1,28	1,29	1,16
<b>T2</b>	1,28	<b>3,07</b>	1,45	1,95	1,96
<b>S</b>	1,52	0,79	1,46	0,99	1,13

Naglašene vrednosti označavaju obogaćenje uzorka određenim elementom (EF>2).

Na osnovu koncentracija Zn u biljnom materijalu sa ispitivanog područja, zaključuje se da su najveće vrednosti bile na mestima koja su pod uticajem zagađenja poreklom iz rudarsko-metalurške proizvodnje bakra. Na osnovu vrednosti faktora obogaćenja, može se potvrditi da je poreklo Zn u biljnom materijalu antropogeno, iako

se zbog deficitarnih koncentracija u lišću mogao doneti zaključak da industrijske aktivnosti nemaju uticaja na sadržaj Zn u ispitivanoj oblasti.

Upoređivanjem koncentracija u pojedinačnim delovima šipurka, gloga i trnjine uočava se da je najveći sadržaj Zn bio u korenu šipurka i granama gloga i trnjine, dok se upoređivanjem koncentracija između biljnih vrsta može reći da je najveći sadržaj Zn bio u većini uzoraka gloga (grane, plodovi, neoprano i oprano lišće) i korenu trnjine. Na osnovu koncentracija Zn, koje su bile veće u zonama pod uticajem zagađenja iz rudarsko-metalurškog kompleksa, kao i vrednosti faktora obogaćenja, može se smatrati da biljni materijal šipurka, gloga i trnjine može da se koristi u svrhe biomonitoringa životne sredine.

**Tabela 60.** Faktor obogaćenja biljnog materijala trnjine cinkom na ispitivanom području

	Koren	Grane	Plodovi	Neoprano lišće	Oprano lišće
<b>UI</b>	<b>4,47</b>	<b>4,39</b>	1,79	<b>11,28</b>	<b>8,35</b>
<b>U</b>	<b>2,37</b>	<b>2,14</b>	1,30	<b>3,35</b>	<b>2,23</b>
<b>SU</b>	1,65	<b>3,82</b>	1,07	<b>3,97</b>	<b>3,46</b>
<b>I1</b>	1,91	<b>2,86</b>	<b>2,11</b>	<b>2,08</b>	1,66
<b>I2</b>	<b>5,66</b>	1,33	1,96	1,21	1,17
<b>I3</b>	1,43	1,56	1,38	1,47	1,69
<b>I4</b>	<b>2,21</b>	<b>2,56</b>	1,46	1,64	1,46
<b>I5</b>	1,58	<b>2,09</b>	1,29	<b>3,50</b>	<b>2,42</b>
<b>R1</b>	1,93	1,29	1,31	<b>2,25</b>	<b>2,09</b>
<b>R2</b>	<b>3,44</b>	1,88	1,61	<b>6,39</b>	<b>6,00</b>
<b>T1</b>	<b>4,32</b>	1,24	1,46	<b>2,49</b>	1,92
<b>T2</b>	<b>5,35</b>	<b>2,43</b>	1,42	<b>3,10</b>	<b>2,54</b>
<b>S</b>	1,39	1,56	1,49	1,22	1,27

Naglašene vrednosti označavaju obogaćenje uzorka određenim elementom (EF>2).

### 6.3.13. Atmosferska depozicija na lišću šipurka, gloga i trnjine

Radi utvrđivanja količine atmosferske depozicije na lišću ispitivanih biljnih vrsta, određivane su razlike koncentracija elemenata u neopranom i opranom lišću (tabele 61-63), kao i nivoi statističkih značajnosti dobijenih razlika (tabele 64-66) koje su urađene pomoću Wilcoxon Signed-Ranks testa.

Razlike koncentracija elemenata u neopranom i opranom lišću šipurka, na ispitivanom području, date su u tabeli 61. Dobijene razlike ukazuju na prisustvo elemenata u atmosferskoj depoziciji, kao i na efekat pranja lišća. Najveće razlike koncentracija elemenata uočene su u lišću šipurka na mestu R2, koje je pod uticajem zagađenja iz rudarsko-metalurške proizvodnje bakra i prašine sa flotacijskog jalovišta, i na mestima I2 i I3 koja su se nalazila u blizini odlagališta raskrivke sa površinskih kopova. Efekat pranja je bio je najizraženiji za Fe, Cu i Al.

Statističke značajnosti razlika koncentracija pojedinačnih elemenata u neopranom i opranom lišću šipurka, date su u tabeli 64. Značajnosti razlika su potvrđene za većinu elemenata. Za Cr i Ni značajnosti razlika nisu potvrđene verovatno zbog malih koncentracija u lišću, kao i za Mn, zbog negativnih razlika u koncentracijama u uzorcima sa sedam mesta uzorkovanja, usled mogućeg rastvaranja Mn u vodi tokom procesa pranja i ponovnog usvajanja Mn u lišću. Takođe, delimično prirodan sadržaj ovih elemenata u zemljištu na kojem biljke rastu, ali i u biljnom materijalu, mogao je uticati na izostanak značajnih razlika u neopranom i opranom lišću šipurka.

Razlike koncentracija elemenata u neopranom i opranom lišću gloga, na ispitivanom području, prikazane su u tabeli 62. Efekat uklanjanja atmosferske depozicije pranjem lišća gloga bio je najveći u uzorcima sa mesta R2 i UI, naročito za Fe, Cu i Al.

Statističke značajnosti razlika koncentracija pojedinačnih elemenata u neopranom i opranom lišću gloga, date su u tabeli 65. Za većinu elementa je potvrđena značajnost razlika koncentracija. Elementi za koje nisu ostvarene značajnosti od  $p \leq 0,05$  su: Cd, Cr, Mn i Ni. U većem broju uzoraka, koncentracije Cd su bile ispod donje granice određivanja, zbog čega nisu dobijene statistički značajne razlike.



U tabeli 63, prikazane su razlike koncentracija elemenata u neopranom i opranom lišću trnjine. Pranjem lišća trnjine, najveća količina atmosferske depozicije je uklonjena sa lišća uzorkovanog na mestima UI i R2, ali i na nekim mestima u industrijskoj zoni (I1, I3). Efekat pranja lišća trnjine, takođe je bio najizraženiji za Fe, Cu i Al.

U tabeli 66, date su statističke značajnosti razlika koncentracija elemenata u neopranom i opranom lišću trnjine. Za elemente Al, As, Cu, Fe, Mo, Pb i Zn su potvrđene statističke značajnosti razlika koncentracija, dok za elemente Cd, Co, Cr, Mn i Ni nisu ostvarene statističke značajnosti. Kao i u prethodnim slučajevima, niske koncentracije u lišću, rastvaranje elemenata tokom pranja ili koncentracije koje su bile ispod granice određivanja, mogu biti glavni razlozi izostanka statističkih značajnosti.

Na osnovu izračunatih razlika koncentracija elemenata u neopranom i opranom lišću šipurka, gloga i trnjine, koje su bile najveće u zonama koje su pod uticajem zagađenja iz industrijskih aktivnosti (zone R, UI, I), može se potvrditi da je poreklo većine ispitivanih elemenata (naročito As, Cu, Fe, Mo, Pb, Zn) u atmosferskoj depoziciji iz rudarsko-metalurške proizvodnje bakra. Međutim, najveće razlike u koncentracijama Al između neopranog i opranog lišća su bile na mestima u industrijskoj zoni, na osnovu čega se smatra da je na količinu Al u atmosferskoj depoziciji imala resuspendovana prašina sa odlagališta raskrivke povrinskih kopova ili njegov prirodni sadržaj u zemljištu. Korelacije između koncentracija elemenata u neopranom i opranom lišću šipurka, gloga i trnjine, date su u tabeli 67. Spirmanovi koeficijenti koji pokazuju statistički značajne jake pozitivne korelacije, potvrđuju da prisustvo većih koncentracija elemenata u neopranom lišću značajno utiče na koncentracije elemenata u opranom lišću sve tri biljne vrste. U najvećoj meri, to zavisi od mesta uzorkovanja, kao i njegove blizine izvoru zagađenja. Što su mesta uzorkovanja pod većim uticajem zagađenja, veće su koncentracije određenih elemenata u atmosferskoj depoziciji, ali se i veće koncentracije elemenata usvajaju u lišću biljaka. Zbog toga je efekat pranja lišća bio najizraženiji na mestima najbližim izvorima zagađenja ili mestima koja su na pravcima dominantnih vetrova, naročito za elemente koji imaju antropogeno poreklo. Statistički značajnih korelacija jedino nije bilo za elemente Cd, Co i Cr, zbog manjeg broja uzoraka (Cd i Co) ili prirodnog sadržaja elemenata (Cr) u biljci ili zemljištu, koji se razlikovao u zavisnosti od mesta uzorkovanja.

**Tabela 61.** Razlike koncentracija elemenata ( $\mu\text{g/g}$ ) u neopranoj i opranoj lišću šipurka na ispitivanom području

	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Mo	Ni	Pb	Zn
<b>UI</b>	33,92	0,91	>0,04	/	0,23	34,60	98,99	-2,40	0,41	-0,04	1,56	4,17
<b>U</b>	26,30	0,56	/	/	0,13	12,26	45,18	-9,69	0,17	-0,06	1,35	2,70
<b>SU</b>	85,88	0,56	/	/	0,11	18,96	89,94	-12,59	0,30	-0,05	5,38	5,28
<b>I1</b>	46,05	/	/	/	2,41	11,63	55,31	-7,67	-0,17	0,45	0,21	1,14
<b>I2</b>	40,33	0,82	>0,0	/	10,05	50,77	111,14	-16,39	0,26	2,60	1,73	5,48
<b>I3</b>	178,03	/	/	/	-3,29	-7,86	99,65	-8,60	0,06	-1,02	0,91	1,94
<b>I4</b>	103,58	>0,01	/	/	0,28	6,37	34,72	-4,46	0,12	0,02	0,92	0,66
<b>I5</b>	140,06	1,32	>0,06	/	0,55	14,40	102,92	-13,98	0,25	0,16	2,29	4,53
<b>R1</b>	26,19	1,71	>0,03	/	-0,08	16,88	56,18	31,15	0,34	0,14	3,74	3,65
<b>R2</b>	67,58	2,82	>0,24	>0,29	0,81	78,95	482,79	11,42	1,50	0,28	15,13	21,94
<b>T1</b>	19,36	0,24	/	/	0,05	9,06	38,58	5,67	0,15	-0,10	-0,13	1,28
<b>T2</b>	32,89	0,39	/	/	0,11	5,95	48,84	0,59	0,08	0,06	0,43	1,99
<b>S</b>	16,06	>0,29	/	/	0,13	1,19	7,09	-0,10	/	-0,35	0,27	-0,09
<b>K</b>	12,70	/	/	/	-0,15	-0,30	10,91	-7,49	/	0,04	-0,07	-0,28

Vrednosti sa predznakom „>” dobijene su oduzimanjem donje granice određivanja elementa u opranoj lišću zbog nedostatka vrednosti od određene koncentracije tog elemenata u neopranoj lišću šipurka, pri čemu maksimalna razlika ne može biti veća od koncentracije u neopranoj lišću.

„/” – koncentracije elemenata u neopranoj i opranoj lišću šipurka su ispod donje granice određivanja.

**Tabela 62.** Razlike u koncentracijama elemenata ( $\mu\text{g/g}$ ) u neoprano i oprano lišću gloga na ispitivanom području

	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Mo	Ni	Pb	Zn
<b>UI</b>	138,04	7,19	0,21	/	0,49	134,44	304,87	-1,45	1,72	0,10	10,92	24,77
<b>U</b>	84,69	1,08	/	/	0,21	21,99	99,65	-0,15	0,32	0,21	3,62	7,40
<b>SU</b>	92,06	0,32	/	/	0,10	17,57	89,63	-1,46	0,24	0,03	2,13	1,99
<b>I1</b>	112,33	-0,45	/	/	0,19	4,03	76,59	-0,72	-0,17	0,12	0,44	1,04
<b>I2</b>	26,76	0,54	>0,02	/	0,92	9,99	60,55	-0,59	0,04	0,28	0,91	1,43
<b>I3</b>	98,73	/	/	/	0,27	3,82	97,26	0,37	0,04	0,01	0,91	-1,36
<b>I4</b>	94,95	0,32	>0,02	/	0,26	7,06	92,05	-2,15	0,16	-0,05	0,98	0,74
<b>I5</b>	152,70	1,37	>0,08	/	0,25	17,41	102,86	-1,77	0,36	0,16	2,59	5,44
<b>R1</b>	62,20	1,74	0,11	/	0,10	37,90	105,22	0,40	0,58	-0,04	6,72	8,12
<b>R2</b>	240,75	6,77	0,38	0,52	2,06	204,77	1815,11	12,29	4,45	0,62	24,63	60,66
<b>T1</b>	49,67	0,57	/		0,08	14,64	77,68	-0,46	0,28	-0,04	-1,33	3,68
<b>T2</b>	46,01	0,61	>0,06		0,01	12,07	60,08	-0,95	0,22	-0,05	2,16	2,57
<b>S</b>	24,09	>0,20	/		0,29	1,57	13,38	-1,22	/	0,11	0,36	-0,75
<b>K</b>	24,29	/	/		-0,27	0,34	20,02	7,38	/	-0,40	-0,09	1,33

Vrednosti sa predznakom „>” dobijene su oduzimanjem donje granice određivanja elementa u oprano lišću zbog nedostatka vrednosti od određene koncentracije tog elemenata u neoprano lišću gloga, pri čemu maksimalna razlika ne može biti veća od koncentracije u neoprano lišću.

„/” – koncentracije elemenata u neoprano i oprano lišću gloga su ispod donje granice određivanja.

**Tabela 63.** Razlike u koncentracijama elemenata ( $\mu\text{g/g}$ ) u neoprano i oprano lišću trnjine na ispitivanom području

	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Mo	Ni	Pb	Zn
<b>UI</b>	212,18	5,87	0,12	-0,04	0,61	161,66	412,79	-2,00	1,65	0,12	10,17	20,29
<b>U</b>	73,83	1,03	/	/	0,26	23,60	97,08	0,15	0,34	0,16	2,81	8,07
<b>SU</b>	120,52	0,52	0,01	/	0,10	23,79	116,31	-18,21	0,34	-0,20	3,19	2,91
<b>I1</b>	109,30	-0,33	/	/	1,25	10,22	106,08	-4,99	-0,13	0,39	0,65	2,78
<b>I2</b>	-22,62	>0,21	/	/	0,10	1,92	19,73	-15,96	-0,03	-0,03	0,20	-0,03
<b>I3</b>	141,18	0,16	/	/	0,11	4,73	114,74	1,30	0,10	0,15	1,13	-2,25
<b>I4</b>	302,47	0,33	/	>0,16	0,65	13,30	322,71	0,92	0,19	0,36	1,11	1,03
<b>I5</b>	134,28	2,15	>0,15	/	0,39	32,74	133,50	-0,44	0,56	0,17	3,39	7,68
<b>R1</b>	-29,99	0,20	>0,06	0,12	-0,37	4,11	0,54	-1,97	0,16	-0,12	0,83	0,70
<b>R2</b>	-13,56	1,46	-0,19	>0,11	0,61	52,10	245,57	266,58	1,11	0,88	3,06	1,27
<b>T1</b>	55,59	0,62	/	/	0,17	16,87	101,42	2,38	0,40	-0,04	1,09	3,89
<b>T2</b>	81,32	0,75	>0,02	/	-0,81	10,02	94,05	-1,37	0,28	-0,37	2,00	3,57
<b>S</b>	33,13	>2,07	/	/	-1,06	-1,89	38,00	-3,24	/	-0,24	0,77	-0,71
<b>K</b>	22,43	/	/	/	-0,43	1,66	2,54	-3,77	/	-0,34	-0,10	-0,29

Vrednosti sa predznakom „>” dobijene su oduzimanjem donje granice određivanja elementa u oprano lišću zbog nedostatka vrednosti od određene koncentracije tog elemenata u neoprano lišću trnjine, pri čemu maksimalna razlika ne može biti veća od koncentracije u neoprano lišću.

„/” – koncentracije elemenata u neoprano i oprano lišću trnjine su ispod donje granice određivanja.

**Tabela 64.** Statistička značajnost ( $p$ ) razlika u koncentracijama elemenata (C) u neoprano i oprano lišću šipurka na ispitivanom području

	Al	As	Cr	Cu	Fe	Mn	Mo	Ni	Pb	Zn
$p$	0,001	0,008	0,056	0,004	0,001	0,177	0,008	0,510	0,002	0,002

Nivo statističke značajnosti  $p \leq 0,05$  (dvostrano).

<sup>a</sup>Bazirano na pozitivnim razlikama u koncentracijama elemenata u neoprano i oprano lišću ( $C_{\text{neoprano lišće}} > C_{\text{oprano lišće}}$ , u većini slučajeva).

<sup>b</sup>Bazirano na negativnim razlikama u koncentracijama elemenata u neoprano i oprano lišću ( $C_{\text{neoprano lišće}} < C_{\text{oprano lišće}}$ , u većini slučajeva).  
Elementi Cd i Co su izostavljeni iz analize zbog malog broja podataka.

**Tabela 65.** Statistička značajnost ( $p$ ) razlika u koncentracijama elemenata (C) u neoprano i oprano lišću gloga na ispitivanom području

	Al	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Mo	Ni	Pb	Zn
$p$	0,001	0,008	0,109	0,006	0,001	0,001	0,198	0,006	0,177	0,005	0,004

Nivo statističke značajnosti  $p \leq 0,05$  (dvostrano).

<sup>a</sup>Bazirano na pozitivnim razlikama u koncentracijama elemenata u neoprano i oprano lišću ( $C_{\text{neoprano lišće}} > C_{\text{oprano lišće}}$ , u većini slučajeva).

<sup>b</sup>Bazirano na negativnim razlikama u koncentracijama elemenata u neoprano i oprano lišću ( $C_{\text{neoprano lišće}} < C_{\text{oprano lišće}}$ , u većini slučajeva).  
Element Co je izostavljen iz analize zbog malog broja podataka.

**Tabela 66.** Statistička značajnost ( $p$ ) razlika u koncentracijama elemenata (C) u neoprano i oprano lišću trnjine na ispitivanom području

	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Mo	Ni	Pb	Zn
$p$	0,005	0,010	1,000	0,655	0,397	0,002	0,001	0,158	0,006	0,683	0,001	0,016

Nivo statističke značajnosti  $p \leq 0,05$  (dvostrano).

<sup>a</sup>Bazirano na pozitivnim razlikama u koncentracijama elemenata u neoprano i oprano lišću ( $C_{\text{neoprano lišće}} > C_{\text{oprano lišće}}$ , u većini slučajeva).

<sup>b</sup>Bazirano na negativnim razlikama u koncentracijama elemenata u neoprano i oprano lišću ( $C_{\text{neoprano lišće}} < C_{\text{oprano lišće}}$ , u većini slučajeva).

**Tabela 67.** Spirmanovi koeficijenti korelacije ( $\rho$ ) između koncentracija elemenata u neopranoj i opranoj lišću šipurka, gloga i trnjine sa ispitivanog područja

	Šipurak		Glog		Trnjina	
	N	$\rho$	N	$\rho$	N	$\rho$
<b>Al</b>	14	0,934**	14	0,873**	14	0,903**
<b>As</b>	11	0,833**	11	0,936**	11	0,936**
<b>Cr</b>	14	0,112	14	0,358	14	0,138
<b>Cu</b>	14	0,811**	14	0,987**	14	0,943**
<b>Fe</b>	14	0,921**	14	0,912**	14	0,969**
<b>Mn</b>	14	0,991**	14	0,996**	14	0,596*
<b>Mo</b>	12	0,895**	12	0,867**	12	0,972**
<b>Ni</b>	14	0,785**	12	0,865**	12	0,864**
<b>Pb</b>	14	0,881**	14	0,956**	14	0,982**
<b>Zn</b>	14	0,934**	14	0,912**	14	0,969**

N-broj uzoraka; nisu date korelacije za elemente Cd i Co zbog malog broja uzoraka.

\*\*  $p < 0,01$ ;

\*  $p < 0,05$ .

Prikazani podaci u tabelama ukazuju da lišće šipurka, gloga i trnjine, iako ima malu površinu u odnosu na lišće drugih biljnih vrsta koje mogu biti prisutne na ispitivanom području, a pri tom ima i glatku površinu, može poslužiti u svrhe određivanja elemenata u atmosferskoj depoziciji. Međutim, ne može se sa sigurnošću tvrditi koja od ove tri biljne vrste je najpogodnija za te svrhe. Nije bilo moguće odrediti pravilnost koja od ove tri biljne vrste je zadržavala veću količinu atmosferske depozicije na površini svog lišća, mada se i na osnovu prethodno izračunatih vrednosti faktora obogaćenja blaga prednost može dati lišću trnjine, koje slede lišće gloga i šipurka.

### 6.3.14. Korelacije elemenata u biljnom materijalu

Kako bi se utvrdilo postojanje veza između koncentracija elemenata u opranim i neopranim delovima biljnog materijala šipurka, gloga i trnjine sa ispitivanog područja, urađena je Spirmanova korelaciona analiza. Pojedini elementi (As, Cd, Co, Cr, Mo, Pb) čije su koncentracije u većem broju uzoraka biljnog materijala bile ispod granica određivanja, izostavljeni su iz analize radi što tačnijeg tumačenja dobijenih rezultata.

#### 6.3.14.1. Korelacije elemenata u biljnom materijalu šipurka

Spirmanovi koeficijenti korelacija ( $\rho$ ) između koncentracija elemenata u opranim delovima šipurka prikazani su u tabeli 68, dok su korelacije između koncentracija elemenata u neopranim delovima date u tabelama 69, 70 i 71.

Spirmanovi koeficijenti korelacija veće statističke značajnosti ( $p < 0,01$ ) dobijeni su između koncentracija Al, Cr, Cu, Fe, Mn i Zn u korenu i između As, Cu, Fe, Mo, Pb i Zn u opranom lišću šipurka (tabela 68). Dobijene jake i značajne pozitivne korelacije su ukazivale na moguće slične mehanizme usvajanja elemenata ili na njihovo zajedničko poreklo u opranim delovima. Izostanak korelacija veće značajnosti između elemenata u korenu i opranom lišću (osim za Mn) može ukazati da nema aktivnog transporta elemenata iz korena do lišća šipurka.

Korelacije između koncentracija elemenata u neopranim delovima šipurka su brojnije, što ukazuje da su gotovo svi ispitivani elementi bili prisutni u atmosferskoj depoziciji. Pozitivne korelacije veće statističke značajnosti između koncentracija (pri čemu postoji najmanje jedna statistički značajna korelacija između različitih elemenata) u granama šipurka ostvarne su između koncentracija Al, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb i Zn (tabela 69), u neopranoj lišću između koncentracija As, Cu, Mo, Pb i Zn (tabela 69) i u plodovima između koncentracija Cu, Fe i Zn (tabela 70).

Između koncentracija elemenata u uzorcima grana i neopranoj lišću (tabela 69), kao i između koncentracija elemenata u uzorcima plodova i grana (tabela 70), pozitivne korelacije veće statističke značajnosti ostvarene su između Cu, Fe, Mn, Ni i Pb. Između koncentracija elemenata u plodovima i neopranoj lišću (tabela 71), značajnije korelacije su ostvarene između Al, As, Cr, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni, Pb i Zn. U najvećem

broju slučajeva, u neopranim delovima šipurka ostvarene su korelacije između elemenata koji su imali zajedničko antropogeno ili prirodno poreklo.



**Tabela 68.** Spirmanovi koeficijenti korelacija ( $\rho$ ) između koncentracija elemenata u korenu (K) i opranom lišću (OL) šipurka na ispitivanom području

	Al_K	Cr_K	Cu_K	Fe_K	Mn_K	Ni_K	Zn_K	Al_OL	As_OL	Cr_OL	Cu_OL	Fe_OL	Mn_OL	Mo_OL	Ni_OL	Pb_OL	Zn_OL
<b>Al_K</b>	1,000																
<b>Cr_K</b>	<b>0,736**</b>	1,000															
<b>Cu_K</b>	<b>0,662**</b>	0,358	1,000														
<b>Fe_K</b>	<b>0,916**</b>	<b>0,873**</b>	0,495	1,000													
<b>Mn_K</b>	0,499	0,226	0,442	0,253	1,000												
<b>Ni_K</b>	0,424	0,288	0,393	0,288	0,218	1,000											
<b>Zn_K</b>	<b>0,842**</b>	<b>0,631*</b>	<b>0,556*</b>	<b>0,684**</b>	<b>0,679**</b>	0,508	1,000										
<b>Al_OL</b>	0,288	0,055	-0,086	0,244	0,301	0,363	0,354	1,000									
<b>As_OL</b>	0,500	0,033	0,500	0,383	-0,250	0,300	0,317	0,083	1,000								
<b>Cr_OL</b>	0,178	-0,059	-0,051	0,103	0,240	0,002	0,121	0,323	<b>0,717*</b>	1,000							
<b>Cu_OL</b>	0,156	-0,187	0,393	-0,029	0,130	0,138	0,029	-0,138	<b>0,717*</b>	0,481	1,000						
<b>Fe_OL</b>	0,371	-0,099	0,270	0,284	-0,064	0,420	0,156	0,512	<b>0,900**</b>	0,516	<b>0,543*</b>	1,000					
<b>Mn_OL</b>	0,165	-0,143	-0,086	-0,046	<b>0,631*</b>	0,270	0,402	<b>0,640*</b>	-0,033	0,503	0,297	0,327	1,000				
<b>Mo_OL</b>	0,126	-0,084	0,538	-0,021	0,028	0,126	0,021	-0,448	<b>0,867**</b>	0,322	<b>0,839**</b>	0,287	0,000	1,000			
<b>Ni_OL</b>	0,288	-0,095	-0,143	0,156	0,371	0,284	0,411	<b>0,596*</b>	0,450	0,288	-0,156	0,354	<b>0,640*</b>	-0,098	1,000		
<b>Pb_OL</b>	0,068	-0,130	0,503	-0,086	0,033	0,437	0,020	-0,213	<b>0,767*</b>	0,319	<b>0,829**</b>	0,473	0,073	<b>0,790**</b>	-0,301	1,000	
<b>Zn_OL</b>	0,051	-0,301	0,385	-0,174	0,196	0,020	-0,046	-0,341	0,333	0,235	<b>0,903**</b>	0,284	0,200	<b>0,615*</b>	-0,204	<b>0,714**</b>	1,000

Naglašene vrednosti označavaju statistički značajne korelacije.

\*\* Nivo značajnosti  $p < 0,01$  (dvostrano).

\* Nivo značajnosti  $p < 0,05$  (dvostrano).

**Tabela 69.** Spirmanovi koeficijenti korelacija ( $\rho$ ) između koncentracija elemenata u granama (G) i neoprano lišću (NL) šipurka na ispitivanom području

	Al_G	Cu_G	Fe_G	Mn_G	Ni_G	Pb_G	Zn_G	Al_NL	As_NL	Cr_NL	Cu_NL	Fe_NL	Mn_NL	Mo_NL	Ni_NL	Pb_NL	Zn_NL
Al_G	1,000																
Cu_G	<b>0,552*</b>	1,000															
Fe_G	<b>0,824**</b>	<b>0,881**</b>	1,000														
Mn_G	0,530	0,182	0,402	1,000													
Ni_G	<b>0,662**</b>	0,508	<b>0,644*</b>	<b>0,758**</b>	1,000												
Pb_G	<b>0,547*</b>	<b>0,934**</b>	<b>0,899**</b>	0,288	<b>0,578*</b>	1,000											
Zn_G	<b>0,780**</b>	<b>0,662**</b>	<b>0,785**</b>	0,411	0,495	<b>0,648*</b>	1,000										
Al_NL	<b>0,657*</b>	0,152	0,389	0,389	0,398	0,121	0,358	1,000									
As_NL	0,245	0,582	0,327	0,200	0,227	0,445	0,209	0,000	1,000								
Cr_NL	0,459	0,411	0,521	0,446	0,521	0,415	0,455	<b>0,648*</b>	0,300	1,000							
Cu_NL	0,116	<b>0,798**</b>	<b>0,560*</b>	0,196	0,367	<b>0,793**</b>	0,345	-0,081	<b>0,845**</b>	0,437	1,000						
Fe_NL	0,516	<b>0,824**</b>	<b>0,732**</b>	0,130	0,376	<b>0,684**</b>	0,420	0,468	<b>0,645**</b>	0,530	<b>0,640*</b>	1,000					
Mn_NL	0,371	0,310	0,327	<b>0,802**</b>	<b>0,697**</b>	0,297	0,297	<b>0,556*</b>	0,409	<b>0,609*</b>	0,411	0,429	1,000				
Mo_NL	-0,280	0,580*	0,147	-0,189	0,042	0,538	-0,217	-0,476	<b>0,964**</b>	-0,154	<b>0,853**</b>	0,497	0,063	1,000			
Ni_NL	0,503	0,358	0,530	<b>0,705**</b>	<b>0,811**</b>	0,490	0,367	0,257	0,391	<b>0,618*</b>	0,376	0,275	<b>0,538*</b>	0,161	1,000		
Pb_NL	0,046	<b>0,732**</b>	0,451	0,051	0,270	<b>0,723**</b>	0,165	0,011	<b>0,882**</b>	0,257	<b>0,895**</b>	<b>0,692**</b>	0,393	<b>0,965**</b>	0,191	1,000	
Zn_NL	-0,116	<b>0,613*</b>	0,279	0,064	0,112	0,530	0,143	-0,108	<b>0,764**</b>	0,354	<b>0,908**</b>	<b>0,556*</b>	0,407	<b>0,797**</b>	0,103	<b>0,842**</b>	1,000

Naglašene vrednosti označavaju statistički značajne korelacije.

\*\* Nivo značajnosti  $p < 0,01$  (dvostrano).

\* Nivo značajnosti  $p < 0,05$  (dvostrano).

**Tabela 70.** Spirmanovi koeficijenti korelacija ( $\rho$ ) između koncentracija elemenata u plodovima (P) i granama (G) šipurka na ispitivanom području

	Al_P	Cu_P	Fe_P	Mn_P	Ni_P	Zn_P
Al_P	1,000					
Cu_P	0,095	1,000				
Fe_P	<b>0,547*</b>	<b>0,556*</b>	1,000			
Mn_P	0,376	0,437	0,059	1,000		
Ni_P	0,240	<b>0,613*</b>	0,451	0,499	1,000	
Zn_P	0,108	<b>0,815**</b>	<b>0,741**</b>	0,165	0,341	1,000
Al_G	<b>0,565*</b>	0,319	0,503	0,393	0,473	0,231
Cu_G	0,262	<b>0,732**</b>	<b>0,631*</b>	0,204	<b>0,609*</b>	<b>0,596*</b>
Fe_G	0,455	<b>0,552*</b>	<b>0,631*</b>	0,336	<b>0,670**</b>	0,415
Mn_G	0,138	0,332	-0,024	<b>0,811**</b>	0,516	0,059
Ni_G	0,222	0,464	0,301	<b>0,670**</b>	<b>0,802**</b>	0,235
Pb_G	0,160	<b>0,653*</b>	0,516	0,244	<b>0,692**</b>	0,415
Zn_G	0,367	0,389	0,354	0,332	0,380	0,275

Naglašene vrednosti označavaju statistički značajne korelacije.

\*\* Nivo značajnosti  $p < 0,01$  (dvostrano).

\* Nivo značajnosti  $p < 0,05$  (dvostrano).

**Tabela 71.** Spirmanovi koeficijenti korelacija ( $\rho$ ) između koncentracija elemenata u neopranoj lišću (NL) i plodovima (P) šipurka na ispitivanom području

	Al_NL	As_NL	Cr_NL	Cu_NL	Fe_NL	Mn_NL	Mo_NL	Ni_NL	Pb_NL	Zn_NL
Al_P	<b>0,785**</b>	0,236	<b>0,745**</b>	0,068	<b>0,565*</b>	0,288	-0,357	0,266	-0,011	0,002
Cu_P	-0,033	<b>0,918**</b>	0,213	<b>0,807**</b>	<b>0,613*</b>	0,464	<b>0,755**</b>	0,380	<b>0,732**</b>	<b>0,688**</b>
Fe_P	0,244	0,527	0,371	0,477	<b>0,688**</b>	0,073	0,210	0,204	0,371	0,349
Mn_P	0,499	0,355	<b>0,565*</b>	0,284	0,314	<b>0,868**</b>	-0,028	<b>0,622*</b>	0,218	0,156
Ni_P	0,095	0,500	0,512	<b>0,600*</b>	0,451	0,420	0,385	<b>0,877**</b>	0,420	0,284
Zn_P	-0,152	<b>0,636*</b>	0,007	<b>0,560*</b>	0,521	0,174	0,469	0,037	0,455	0,516

Naglašene vrednosti označavaju statistički značajne korelacije.

\*\* Nivo značajnosti  $p < 0,01$  (dvostrano).

\* Nivo značajnosti  $p < 0,05$  (dvostrano).

### 6.3.14.2. Korelacije elemenata u biljnom materijalu gloga

U tabeli 72, dati su Spirmanovi koeficijenti korelacija ( $\rho$ ) između koncentracija elemenata u opranim delovima, a u tabelama 73, 74 i 75, između koncentracija elemenata u neopranim delovima gloga.

Statistički značajnije pozitivne korelacije ( $p < 0,01$ ) dobijene su između koncentracija Cr, Fe i Mn u korenu gloga, kao i između As, Cr, Cu, Fe, Mo i Pb u opranom lišću gloga (tabela 73). Korelacije veće statističke značajnosti između koncentracija elemenata u korenu i opranom lišću gloga ostvarene su samo između Cu u korenu i Cu i Mn u opranom lišću, na osnovu čega se može reći da nije postojao aktivni transport elemenata iz korena do lišća gloga.

Kao i u slučaju neopranih delova šipurka, korelacije između koncentracija elemenata u neopranim delovima gloga su brojnije nego u opranim delovima, ukazujući na njihovo prisustvo u atmosferskoj depoziciji. Pozitivne korelacije veće statističke značajnosti (pri čemu je ostvarena najmanje jedna statistički značajna korelacija između različitih elemenata), dobijene su između koncentracija Cu, Fe, Mn, Ni, Pb i Zn u granama (tabela 73), između As, Cd, Cu, Mn, Mo, Ni, Pb i Zn u neopranom lišću (tabela 73), i između Cu i Zn u plodovima gloga (tabela 74).

Pozitivne korelacije veće statističke značajnosti između koncentracija elemenata u uzorcima grana i neoprano lišća ostvarene su između Cu, Mn, Pb i Zn (tabela 73), dok su između koncentracija elemenata u uzorcima plodova i grana značajnije korelacije zabeležene između Cu i Pb (tabela 74). Između koncentracija elemenata u plodovima i neoprano lišću, dobijeno je nekoliko značajnijih korelacija između Al, Cd, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb i Zn (tabela 75), kao i jedna negativna korelacija između Cr u neoprano lišću sa Al u plodovima. Slično dobijenim korelacijama između koncentracija elemenata u delovima šipurka, ostvarene korelacije između elemenata u delovima gloga, mogu ukazati na slične mehanizme usvajanja elemenata ili na njihovo zajedničko poreklo.

**Tabela 72.** Spirmanovi koeficijenti korelacija ( $\rho$ ) između koncentracija elemenata u korenu (K) i opranom lišću (OL) gloga na ispitivanom području

	Al_K	Cr_K	Cu_K	Fe_K	Mn_K	Ni_K	Zn_K	Al_OL	As_OL	Cr_OL	Cu_OL	Fe_OL	Mn_OL	Mo_OL	Ni_OL	Pb_OL	Zn_OL
Al_K	1,000																
Cr_K	-0,318	1,000															
Cu_K	-0,437	0,355	1,000														
Fe_K	-0,336	<b>0,900**</b>	,314	1,000													
Mn_K	-0,415	<b>0,864**</b>	<b>,582*</b>	<b>,864**</b>	1,000												
Ni_K	-0,467	<b>0,691*</b>	0,538	<b>,621*</b>	<b>,599*</b>	1,000											
Zn_K	-0,253	0,282	0,486	0,160	0,358	0,247	1,000										
Al_OL	-0,213	0,136	0,077	0,020	0,077	0,066	0,187	1,000									
As_OL	-0,073	-0,267	0,564	-0,064	-0,055	-0,115	0,218	0,300	1,000								
Cr_OL	0,046	-0,491	0,305	-0,222	-0,200	0,291	0,204	-0,024	0,509	1,000							
Cu_OL	-0,516	0,000	<b>0,820**</b>	-0,029	0,152	0,330	0,442	0,169	<b>0,709*</b>	0,332	1,000						
Fe_OL	-0,226	-0,445	0,358	-0,380	-0,284	0,099	0,231	-0,407	0,427	<b>0,543*</b>	<b>0,600*</b>	1,000					
Mn_OL	-0,231	-0,164	0,121	-0,059	-0,077	0,423	0,270	-0,073	-0,164	0,640*	0,200	0,363	1,000				
Mo_OL	-0,264	-0,248	<b>0,786**</b>	0,027	0,055	0,273	0,445	0,115	<b>0,827**</b>	<b>0,797**</b>	<b>0,846**</b>	<b>0,610*</b>	0,335	1,000			
Ni_OL	-0,301	0,127	0,293	0,064	0,092	<b>0,597*</b>	0,444	-0,110	-0,145	<b>0,579*</b>	0,365	0,519	<b>0,871**</b>	0,305	1,000		
Pb_OL	-0,209	-0,236	<b>0,648*</b>	-0,213	-0,108	0,121	0,073	-0,037	<b>0,873**</b>	0,393	<b>0,846**</b>	<b>0,697**</b>	0,002	<b>0,753**</b>	0,178	1,000	
Zn_OL	-0,253	0,264	<b>0,596*</b>	0,341	0,323	0,247	0,301	-0,042	<b>0,636*</b>	0,314	<b>0,538*</b>	0,429	0,174	<b>0,555*</b>	0,372	<b>0,604*</b>	1,000

Naglašene vrednosti označavaju statistički značajne korelacije.

\*\* Nivo značajnosti  $p < 0,01$  (dvostrano).

\* Nivo značajnosti  $p < 0,05$  (dvostrano).

**Tabela 73.** Spirmanovi koeficijenti korelacija ( $\rho$ ) između koncentracija elemenata u granama (G) i neopranoj lišću (NL) gloga na ispitivanom području

	Al_G	Cd_G	Cu_G	Fe_G	Mn_G	Ni_G	Pb_G	Zn_G	Al_NL	As_NL	Cd_NL	Cr_NL	Cu_NL	Fe_NL	Mn_NL	Mo_NL	Ni_NL	Pb_NL	Zn_NL	
<b>Al_G</b>	1,000																			
<b>Cd_G</b>	-0,095	1,000																		
<b>Cu_G</b>	-0,393	0,119	1,000																	
<b>Fe_G</b>	-0,429	0,310	<b>0,965**</b>	1,000																
<b>Mn_G</b>	0,209	0,595	0,481	0,446	1,000															
<b>Ni_G</b>	0,143	<b>0,810*</b>	<b>0,640*</b>	<b>0,578*</b>	<b>0,727**</b>	1,000														
<b>Pb_G</b>	-0,411	0,167	<b>0,895**</b>	<b>0,820**</b>	0,477	<b>0,604*</b>	1,000													
<b>Zn_G</b>	-0,297	0,190	<b>0,881**</b>	<b>0,877**</b>	<b>0,578*</b>	<b>0,688**</b>	<b>0,719**</b>	1,000												
<b>Al_NL</b>	0,468	-0,071	-0,152	-0,182	0,156	0,218	0,046	-0,099	1,000											
<b>As_NL</b>	-0,545	-0,500	0,322	0,280	-0,224	-0,126	0,573	0,105	-0,035	1,000										
<b>Cd_NL</b>	-0,179	-0,500	0,286	0,071	-0,214	-0,214	0,429	-0,107	0,286	<b>0,964**</b>	1,000									
<b>Cr_NL</b>	-0,442	-0,286	-0,081	-0,086	-0,169	-0,310	0,029	-0,051	-0,495	0,343	0,214	1,000								
<b>Cu_NL</b>	-0,429	-0,310	<b>0,701**</b>	<b>0,618*</b>	0,187	0,319	<b>0,868**</b>	0,455	0,033	<b>0,811**</b>	<b>0,929**</b>	0,266	1,000							
<b>Fe_NL</b>	<b>-0,582*</b>	-0,190	0,420	0,446	0,103	-0,020	0,490	0,288	-0,319	0,573	0,714	<b>0,534*</b>	<b>0,626*</b>	1,000						
<b>Mn_NL</b>	0,314	0,262	0,046	0,042	<b>0,662**</b>	0,253	0,204	0,147	0,160	0,133	0,179	0,270	0,156	0,305	1,000					
<b>Mo_NL</b>	-0,455	-0,333	0,301	0,168	-0,154	-0,161	<b>0,629*</b>	-0,049	0,091	<b>0,927**</b>	<b>1,000**</b>	0,287	<b>0,895**</b>	0,510	0,042	1,000				
<b>Ni_NL</b>	-0,086	0,238	0,196	0,204	<b>0,631*</b>	0,222	0,284	0,244	-0,112	0,028	0,321	<b>0,552*</b>	0,279	0,521	<b>0,798**</b>	0,168	1,000			
<b>Pb_NL</b>	<b>-0,552*</b>	-0,333	<b>0,626*</b>	<b>0,560*</b>	-0,020	0,240	<b>0,802**</b>	0,389	-0,051	<b>0,944**</b>	<b>0,964**</b>	0,292	<b>0,947**</b>	<b>0,631*</b>	0,011	<b>0,944**</b>	0,112	1,000		
<b>Zn_NL</b>	-0,508	0,095	<b>0,604*</b>	<b>0,591*</b>	0,169	0,429	<b>0,736**</b>	<b>0,582*</b>	-0,020	<b>0,748**</b>	<b>0,821*</b>	0,319	<b>0,644*</b>	<b>0,547*</b>	0,240	0,566	0,288	<b>0,741**</b>	1,000	

Naglašene vrednosti označavaju statistički značajne korelacije.

\*\* Nivo značajnosti  $p < 0,01$  (dvostrano).

\* Nivo značajnosti  $p < 0,05$  (dvostrano).

**Tabela 74.** Spirmanovi koeficijenti korelacija ( $\rho$ ) između koncentracija elemenata u plodovima (P) i granama (G) gloga na ispitivanom području

	Al_P	Cu_P	Fe_P	Mn_P	Ni_P	Pb_P	Zn_P
Al_P	1,000						
Cu_P	0,081	1,000					
Fe_P	-0,204	0,508	1,000				
Mn_P	0,051	0,116	0,235	1,000			
Ni_P	-0,165	0,486	0,495	<b>0,618*</b>	1,000		
Pb_P	0,286	<b>0,714*</b>	0,690	-0,048	0,571	1,000	
Zn_P	0,297	<b>0,824**</b>	0,182	-0,116	0,284	<b>0,786*</b>	1,000
Al_G	0,464	-0,253	-0,503	0,464	-0,231	-0,500	-0,191
Cd_G	-0,095	-0,429	-0,310	0,167	0,381	-0,143	-0,262
Cu_G	-0,007	<b>0,719**</b>	0,415	-0,068	0,310	0,405	0,358
Fe_G	-0,077	<b>0,578*</b>	0,389	-0,064	0,301	0,357	0,191
Mn_G	0,222	0,345	0,240	<b>0,604*</b>	<b>0,600*</b>	-0,071	0,033
Ni_G	0,319	0,486	0,064	0,160	0,424	0,190	0,279
Pb_G	-0,002	<b>0,771**</b>	0,525	-0,024	0,367	0,524	0,424
Zn_G	0,046	0,459	0,288	0,068	0,371	0,429	0,130

Naglašene vrednosti označavaju statistički značajne korelacije.

\*\* Nivo značajnosti  $p < 0,01$  (dvostrano).

\* Nivo značajnosti  $p < 0,05$  (dvostrano).



**Tabela 75.** Spirmanovi koeficijenti korelacija ( $\rho$ ) između koncentracija elemenata u neopranoj lišću (NL) i plodovima (P) gloga na ispitivanom području

	Al_NL	As_NL	Cd_NL	Cr_NL	Cu_NL	Fe_NL	Mn_NL	Mo_NL	Ni_NL	Pb_NL	Zn_NL
Al_P	<b>0,802**</b>	-0,315	0,286	<b>-0,697**</b>	-0,086	-0,310	-0,081	-0,175	-0,253	-0,196	-0,231
Cu_P	-0,015	0,378	<b>0,893**</b>	0,169	<b>0,785**</b>	0,459	0,134	<b>0,636*</b>	0,385	<b>0,657*</b>	0,495
Fe_P	-0,248	0,427	0,643	0,495	<b>0,582*</b>	<b>0,890**</b>	0,376	0,357	<b>0,543*</b>	0,525	0,451
Mn_P	0,178	-0,280	0,179	0,240	-0,095	0,099	<b>0,846**</b>	-0,287	<b>0,771**</b>	-0,319	-0,046
Ni_P	-0,077	-0,028	0,286	0,468	0,235	0,380	<b>0,565*</b>	0,042	<b>0,864**</b>	0,108	0,424
Pb_P	0,429	0,405	0,714	0,190	0,548	0,643	0,095	0,452	0,381	0,548	<b>0,833*</b>
Zn_P	0,152	0,231	<b>0,857*</b>	0,064	0,525	0,196	-0,178	<b>0,594*</b>	0,121	0,464	0,275

Naglašene vrednosti označavaju statistički značajne korelacije.

\*\* Nivo značajnosti  $p < 0,01$  (dvostrano).

\* Nivo značajnosti  $p < 0,05$  (dvostrano).

### 6.3.14.3. Korelacije elemenata u biljnom materijalu trnjine

Spirmanovi koeficijenti korelacija ( $\rho$ ) između koncentracija elemenata u opranim delovima trnjine prikazani su u tabeli 76, dok su između koncentracija elemenata u neopranim delovima dati u tabelama 77, 78 i 79.

U korenu trnjine (tabela 76), dobijena je jedna korelacija veće statističke značajnosti ( $p < 0,01$ ), i to između koncentracija Cu i Mn. U uzorcima opranog lišća trnjine (tabela 76), pozitivne korelacije veće statističke značajnosti dobijene su između koncentracija As, Cu, Fe, Mo, Pb i Zn. Dobijene korelacije su ukazivale na slične mehanizme usvajanja elemenata, kao i na njihovo zajedničko poreklo u opranim delovima trnjine. Između opranih delova trnjine (koren-oprano lišće), statistički značajnija pozitivna korelacija ostvarena je samo između koncentracija Al u korenu i Pb u opranom lišću, na osnovu čega se može zaključiti da nema aktivnog transporta elemenata iz korena do lišća trnjine.

Na osnovu većeg broja dobijenih korelacija između koncentracija elemenata u neopranim delovima trnjine, može se zaključiti da su ispitivani elementi prisutni u atmosferskoj depoziciji. Pozitivne korelacije veće statističke značajnosti (pri čemu je ostvarena najmanje jedna statistički značajna korelacija između različitih elemenata) dobijene su u granama trnjine između koncentracija Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb i Zn (tabela 77), u neopranom lišću između koncentracija As, Cr, Cu, Fe, Mo, Ni, Pb i Zn (tabela 77), dok je u plodovima zabeleženo samo nekoliko korelacija značajnosti na nivou  $p < 0,05$  (tabela 78).

Između istraživanih elemenata u granama i neopranom lišću trnjine (tabela 77), korelacije veće statističke značajnosti dobijene su između koncentracija Cu, Fe i Pb u granama sa As, Cr, Cu, Fe, Mo, Pb i Zn u neopranom lišću, kao i između Al u granama sa Al u neopranom lišću. Značajnijih korelacija nije bilo između koncentracija elemenata u plodovima i granama (tabela 78), dok su statistički značajnije korelacije zabeležene između koncentracija Cr i Mn u neopranom lišću sa Mn i Ni u plodovima (tabela 79). Na osnovu dobijenih rezultata, može se reći, kao i u slučaju šipurka i gloga, da su dobijene korelacije ostvarene između koncentracija elemenata koji su imali zajedničko poreklo u neopranim delovima trnjine.

**Tabela 76.** Spirmanovi koeficijenti korelacija ( $\rho$ ) između koncentracija elemenata u korenu (K) i opranom lišću (OL) trnjine na ispitivanom području

	Al_K	Cr_K	Cu_K	Fe_K	Mn_K	Ni_K	Zn_K	Al_OL	As_OL	Cr_OL	Cu_OL	Fe_OL	Mn_OL	Mo_OL	Ni_OL	Pb_OL	Zn_OL
Al_K	1,000																
Cr_K	0,046	1,000															
Cu_K	<b>0,547*</b>	0,182	1,000														
Fe_K	0,077	<b>0,534*</b>	0,349	1,000													
Mn_K	0,499	0,037	<b>0,662**</b>	0,156	1,000												
Ni_K	0,363	0,380	0,121	0,446	0,323	1,000											
Zn_K	0,442	-0,284	0,446	-0,257	0,358	0,209	1,000										
Al_OL	0,077	-0,108	0,178	-0,310	-0,244	<b>-0,596*</b>	-0,156	1,000									
As_OL	0,464	-0,300	0,082	-0,145	-0,100	-0,045	0,273	-0,100	1,000								
Cr_OL	0,103	0,002	-0,116	<b>0,560*</b>	-0,213	0,468	-0,125	-0,248	0,100	1,000							
Cu_OL	<b>0,648*</b>	-0,064	0,468	0,200	0,174	-0,033	0,433	0,002	<b>0,909**</b>	0,218	1,000						
Fe_OL	0,508	0,292	0,156	0,455	0,068	0,262	0,178	-0,363	0,445	0,437	<b>0,745**</b>	1,000					
Mn_OL	0,226	-0,090	-0,345	<b>-0,534*</b>	0,160	0,064	0,073	-0,068	-0,018	-0,336	-0,051	0,007	1,000				
Mo_OL	0,371	-0,217	0,189	0,119	-0,336	-0,259	0,063	0,168	<b>0,964**</b>	0,329	<b>0,958**</b>	0,531	-0,329	1,000			
Ni_OL	0,349	0,095	-0,468	-0,029	-0,147	0,363	-0,222	-0,182	0,255	0,407	0,147	0,385	0,407	0,182	1,000		
Pb_OL	<b>0,692**</b>	-0,099	0,530	0,165	0,218	-0,064	0,424	0,073	<b>0,891**</b>	0,174	<b>0,982**</b>	<b>0,684**</b>	-0,073	<b>0,965**</b>	0,130	1,000	
Zn_OL	<b>0,657*</b>	-0,033	0,521	0,147	0,160	-0,077	0,363	0,138	<b>0,909**</b>	0,121	<b>0,947**</b>	<b>0,600*</b>	-0,081	<b>0,958**</b>	0,152	<b>0,978**</b>	1,000

Naglašene vrednosti označavaju statistički značajne korelacije.

\*\* Nivo značajnosti  $p < 0,01$  (dvostrano).

\* Nivo značajnosti  $p < 0,05$  (dvostrano).

**Tabela 77.** Spirmanovi koeficijenti korelacija ( $\rho$ ) između koncentracija elemenata u granama (G) i neopranoj lišću (NL) trnjine na ispitivanom području

	Al_G	Cr_G	Cu_G	Fe_G	Mn_G	Ni_G	Pb_G	Zn_G	Al_NL	As_NL	Cr_NL	Cu_NL	Fe_NL	Mn_NL	Mo_NL	Ni_NL	Pb_NL	Zn_NL	
Al_G	1,000																		
Cr_G	-0,297	1,000																	
Cu_G	-0,121	0,345	1,000																
Fe_G	0,011	0,564	<b>0,789**</b>	1,000															
Mn_G	<b>0,622*</b>	0,188	0,086	0,262	1,000														
Ni_G	-0,130	<b>0,770**</b>	0,292	<b>0,543*</b>	0,521	1,000													
Pb_G	-0,116	0,091	<b>0,943**</b>	<b>0,640*</b>	0,064	0,125	1,000												
Zn_G	0,262	0,333	<b>0,582*</b>	<b>0,780**</b>	<b>0,662**</b>	<b>0,560*</b>	0,512	1,000											
Al_NL	<b>0,736**</b>	-0,127	-0,288	-0,231	0,468	-0,213	-0,191	0,099	1,000										
As_NL	0,033	0,033	<b>0,714**</b>	0,478	0,071	0,055	<b>0,643*</b>	0,330	-0,005	1,000									
Cr_NL	-0,037	0,503	<b>0,692**</b>	<b>0,798**</b>	-0,064	0,244	<b>0,582*</b>	0,495	-0,327	0,137	1,000								
Cu_NL	0,073	0,236	<b>0,846**</b>	<b>0,705**</b>	0,248	0,367	<b>0,798**</b>	<b>0,591*</b>	0,015	<b>0,879**</b>	,451	1,000							
Fe_NL	-0,108	0,394	<b>0,864**</b>	<b>0,842**</b>	-0,086	0,138	<b>0,798**</b>	0,525	-0,336	0,478	<b>0,873**</b>	<b>0,675**</b>	1,000						
Mn_NL	<b>0,534*</b>	-0,442	0,305	0,209	0,367	0,020	0,262	0,187	-0,064	0,016	0,341	0,204	0,305	1,000					
Mo_NL	0,112	-0,033	<b>0,741**</b>	0,524	0,056	-0,021	<b>0,664*</b>	0,392	0,147	<b>0,972**</b>	0,161	<b>0,993**</b>	0,503	-0,049	1,000				
Ni_NL	0,108	0,030	0,385	0,398	-0,011	-0,095	0,292	0,336	-0,345	0,082	<b>0,662**</b>	0,152	<b>0,596*</b>	<b>0,552*</b>	0,091	1,000			
Pb_NL	0,095	0,236	<b>0,842**</b>	<b>0,670**</b>	0,235	0,279	<b>0,807**</b>	<b>0,547*</b>	0,015	<b>0,896**</b>	0,437	<b>0,982**</b>	<b>0,697**</b>	0,262	<b>0,986**</b>	0,231	1,000		
Zn_NL	0,103	0,273	<b>0,833**</b>	<b>0,697**</b>	0,262	0,367	<b>0,767**</b>	<b>0,596*</b>	0,055	<b>0,890**</b>	0,473	<b>0,987**</b>	<b>0,648*</b>	0,196	<b>0,972**</b>	0,191	<b>0,969**</b>	1,000	

Naglašene vrednosti označavaju statistički značajne korelacije.

\*\* Nivo značajnosti  $p < 0,01$  (dvostrano).

\* Nivo značajnosti  $p < 0,05$  (dvostrano).

**Tabela 78.** Spirmanovi koeficijenti korelacija ( $\rho$ ) između koncentracija elemenata u plodovima (P) i granama (G) trnjine na ispitivanom području

	Al_P	Cu_P	Fe_P	Mn_P	Ni_P	Zn_P
Al_P	1,000					
Cu_P	-0,363	1,000				
Fe_P	-0,033	<b>0,574*</b>	1,000			
Mn_P	-0,055	0,029	0,134	1,000		
Ni_P	0,400	-0,064	0,355	0,418	1,000	
Zn_P	0,002	0,530	<b>0,556*</b>	<b>0,556*</b>	0,509	1,000
Al_G	<b>0,552*</b>	-0,134	0,077	-0,086	0,418	-0,156
Cr_G	-0,455	0,285	-0,127	-0,382	-0,679	-0,139
Cu_G	<b>-0,622*</b>	0,481	<b>0,604*</b>	-0,191	-0,200	0,055
Fe_G	-0,468	<b>0,640*</b>	0,455	-0,358	-0,191	0,147
Mn_G	-0,112	0,015	-0,095	0,073	-0,018	-0,108
Ni_G	-0,512	0,376	0,015	-0,108	-0,264	0,196
Pb_G	<b>-0,587*</b>	0,270	<b>0,538*</b>	-0,059	-0,182	0,042
Zn_G	-0,411	<b>0,552*</b>	0,358	0,033	-0,218	0,222

Naglašene vrednosti označavaju statistički značajne korelacije.

\*\* Nivo značajnosti  $p < 0,01$  (dvostrano).

\* Nivo značajnosti  $p < 0,05$  (dvostrano).

**Tabela 79.** Spirmanovi koeficijenti korelacija ( $\rho$ ) između koncentracija elemenata u neopranoj lišću (NL) i plodovima (P) trnjine na ispitivanom području

	Al_NL	As_NL	Cr_NL	Cu_NL	Fe_NL	Mn_NL	Mo_NL	Ni_NL	Pb_NL	Zn_NL
Al_P	<b>0,560*</b>	-0,390	-0,178	-0,433	-0,398	0,068	-0,189	-0,037	-0,433	-0,385
Cu_P	-0,486	0,275	<b>0,552*</b>	0,354	0,486	0,174	0,315	<b>0,547*</b>	0,310	0,389
Fe_P	-0,244	0,170	<b>0,684**</b>	0,464	<b>0,640*</b>	<b>0,534*</b>	0,294	<b>0,609*</b>	0,433	0,468
Mn_P	-0,169	-0,527	-0,068	-0,424	-0,248	0,130	-0,545	0,288	-0,415	-0,402
Ni_P	-0,145	-0,624	0,182	-0,364	0,055	<b>0,782**</b>	<b>-0,733*</b>	0,373	-0,336	-0,436
Zn_P	-0,473	-0,363	0,376	-0,029	0,160	0,213	-0,329	0,446	-0,090	-0,033

Naglašene vrednosti označavaju statistički značajne korelacije.

\*\* Nivo značajnosti  $p < 0,01$  (dvostrano).

\* Nivo značajnosti  $p < 0,05$  (dvostrano).

#### **6.4. Biološki faktori i mogućnosti korišćenja šipurka, gloga i trnjine u fitoremedijaciji zemljišta**

Sposobnost biljaka da usvajaju elemente iz zemljišta ili substrata na kojem rastu, kao i translokacije elemenata kroz biljku, moguće je proceniti na osnovu vrednosti bioloških faktora. Takođe, na osnovu vrednosti bioloških faktora može se ukazati na poreklo elemenata u biljci, odnosno da li se usvajaju iz zemljišta preko korena ili preko nadzemnih delova iz vazduha. Kako bi se izbegao uticaj atmosferske depozicije, za proračun faktora se koriste koncentracije elemenata u opranim delovima biljnog materijala (opran koren i oprano lišće). Međutim, osim bioloških faktora, veliki je broj drugih parametara koji utiču na količinu usvojenih elemenata u biljci (biljna vrsta, pH zemljišta, sadržaj organskih materija, itd.) o kojima se mora voditi računa prilikom donošenja konačnih zaključaka o poreklu elemenata.

Na osnovu vrednosti bioloških faktora moguće je proceniti da li je određena biljna vrsta pogodna za upotrebu u fitoremedijaciji. Uspešno usvajanje elemenata iz zemljišta u korenu biljke, zadržavanje u korenu ili njihova translokacija do nadzemnih delova, karakteristike su biljaka pogodnih za fitoekstrakciju odnosno fitostabilizaciju, što će u ovom poglavlju biti razmatrano.

##### **6.4.1. Biološki faktori za šipurak**

U tabelama 80, 81 i 82, date su vrednosti biokoncentracionog faktora (BCF), translokacionog faktora (TF) i biološkog koeficijenta apsorpcije (BAC) za šipurak.

Izračunate vrednosti BCF za šipurak (tabela 80) bile su  $<1$  skoro za sve elemente, na svim mestima uzorkovanja, što je ukazivalo na veoma slabo usvajanje iz zemljišta preko korena šipurka. Jedino je za Cd na mestu I1 vrednost BCF bila  $>1$  (BCF=1,645). Na mestu I1 koje je u neposrednoj blizini površinskog kopa Cerovo, koncentracija Cd u korenu šipurka je bila najveća u odnosu na uzorke sa ostalih mesta, dok je koncentracija u zemljištu bila među najnižim u poređenju sa uzorcima zemljišta sa drugih mesta. Zemljište na mestu I1 je bilo jako kiselo (pH=5,17), dok je sadržaj OM bio 6,93%. Elementi su dostupniji biljkama pri nižim pH vrednostima zemljišta, što je mogao biti razlog većeg usvajanja Cd u korenu šipurka sa mesta I1, a samim tim i veće

vrednosti BCF. Spirmanovi koeficijenti korelacija između koncentracija elemenata u zemljištu i korenu šipurka (tabela 83) nisu bili ni jaki, a ni značajni, što je u saglasnosti sa prethodnom tvrdnjom da nema značajnog usvajanja elemenata iz zemljišta preko korena. Relativno visok sadržaj OM mogao je uticati na zadržavanje elemenata na česticama zemljišta, umanjujući tako njihovu pokretljivost i dostupnost biljkama (Kwiatkowska-Malina, 2018).

Translokacioni faktor za šipurak (tabela 81) bio je  $>1$  za većinu elemenata na minimalno 4 mesta uzorkovanja (osim za Cd i Co), što može ukazivati na efikasnu translokaciju elemenata iz korena do lišća. Međutim, izostanak korelacija između koncentracija elemenata u korenu i opranom lišću šipurka sa ispitivanog područja (tabela 68, poglavlje 6.3.14.1), nije u saglasnosti sa prethodnom pretpostavkom (osim za Mn). Na osnovu toga, može se zaključiti da su elementi prisutni u lišću šipurka u najvećoj meri poreklom iz atmosfere, odnosno da su usvojeni iz atmosferske depozicije na površini lišća.

Vrednosti biološkog koeficijenta apsorpcije (BAC) (tabela 82) ukazuju da se apsorpcija elemenata iz zemljišta do lišća šipurka kreće od veoma slabog do srednjeg intenziteta. Za Al i Fe zabeležena je veoma slaba apsorpcija na svim mestima uzorkovanja, osim za Fe na mestu R2, gde je bila slabog intenziteta. Intenzitet apsorpcije za Cd i Co na svim mestima uzorkovanja, ali i za As na nekoliko mesta bio je sa predznakom „<” zbog koncentracija koje su u opranom lišću bile ispod donje granice određivanja. Inače, apsorpcija As na mestima UI, U, SU, I2, I5, R1, R2, T1 i T2 bila je slabog intenziteta. Apсорpcija srednjeg intenziteta bila je zabeležena za Cr, Cu, Mn, Mo, Ni, Pb i Zn na više mesta uzorkovanja. Na osnovu ovakvog intenziteta apsorpcije elemenata iz zemljišta, može se smatrati da je sadržaj istih u nadzemnim delovima (lišću) šipurka, u najvećoj meri poreklom iz vazduha. Međutim, statistički značajne pozitivne korelacije velike jačine (tabela 83), dobijene su između koncentracija elemenata u zemljištu i opranom lišću šipurka za As, Cu i Pb. Kako je zemljište bilo značajno kontaminirano ovim elementima (poglavlje 6.2), koji spadaju u glavne zagađujuće supstance poreklom iz rudarsko-metalurške proizvodnje, smatra se da je njihovo prisustvo u lišću šipurka delom i iz zemljišta. Vural (2015a) je takođe istraživao usvajanje elemenata iz zemljišta u lišću *Rosa canina*. On nalazi da je intenzitet apsorpcije za As, Cd, Cu, Fe i Pb iz zemljišta do lišća biljaka bio slab, dok je za Zn u



nekoliko uzoraka bio slabog do srednjeg intenziteta, što je u skladu sa rezultatima u ovom istraživanju.

#### **6.4.1.1. Mogućnosti korišćenja šipurka u fitoremedijaciji**

Biljna vrsta se smatra pogodnom za svrhe fitoremedijacije (fitoekstrakcija ili fitostabilizacija), ukoliko zadovoljava kriterijume o kojima je pisano u poglavlju 5.9.1. Na osnovu podataka za šipurak koji su prikazani u tabelama 80 i 81, kriterijum  $BCF > 1$  i  $TF > 1$  nije ispunjen ni za jedan od ispitivanih elemenata, na osnovu čega se zaključuje da se šipurak u uslovima ispitivanog područja nije pokazao pogodnim za fitoekstrakciju.

Da bi biljka bila pogodna za fitostabilizaciju, potrebno je da  $BCF > 1$  i  $TF < 1$ , što je ostvareno samo za Cd na mestu I1. Na mestu R2, takođe za Cd, vrednost BCF je bila  $> 0,715$  što potencijalno znači da bi mogla biti  $> 1$ , dok je vrednost TF bila  $< 1$ , čime bi se mogao ispuniti uslov za fitostabilizaciju. Međutim, samo na osnovu ovih slučajeva se ne može sa sigurnošću reći da je šipurak pogodan za fitostabilizaciju.

Na osnovu vrednosti BAC (tabela 82) koje su bile  $< 1$  (Baker, 1981), zaključuje se da je šipurak ekskluder za ispitivane elemente u postojećim uslovima ispitivanog područja.

**Tabela 80.** Biokoncentracioni faktor (BCF) elemenata za šipurak na ispitivanom području

Elementi	Mesta uzorkovanja													
	UI	U	SU	I1	I2	I3	I4	I5	R1	R2	T1	T2	S	K
<b>Al</b>	0,012	0,003	0,001	0,007	0,005	0,005	0,003	0,005	0,003	0,004	0,000	0,004	0,001	0,003
<b>As</b>	0,029	<0,020	<0,016	<0,042	<0,037	<0,031	<0,016	<0,031	<0,008	0,006	<0,013	<0,012	<0,144	<0,106
<b>Cd</b>	<0,100	<0,049	<0,408	<b>1,645</b>	0,696	<0,060	<0,129	0,301	<0,215	>0,715	<0,104	0,137	<0,331	/
<b>Co</b>	<0,011	<0,010	<0,009	0,037	<0,012	<0,013	<0,016	<0,018	<0,013	0,021	<0,008	<0,011	<0,009	<0,014
<b>Cr</b>	0,065	0,008	0,006	0,062	0,025	0,025	0,011	0,064	0,009	0,007	0,021	0,074	0,010	0,013
<b>Cu</b>	0,070	0,014	0,010	0,190	0,112	0,056	0,019	0,082	0,006	0,076	0,019	0,060	0,029	0,222
<b>Fe</b>	0,013	0,002	0,001	0,007	0,003	0,005	0,004	0,003	0,002	0,002	0,000	0,004	0,001	0,003
<b>Mn</b>	0,012	0,006	0,011	0,028	0,131	0,010	0,010	0,042	0,008	0,048	0,008	0,020	0,007	0,035
<b>Mo</b>	0,881	<0,005	<0,196	0,270	<0,329	<0,174	<0,081	<0,223	<0,060	<0,046	<0,181	<0,163	<0,253	<0,294
<b>Ni</b>	0,153	0,019	0,035	0,258	0,109	0,029	0,029	0,103	0,123	0,110	0,108	0,083	0,027	0,031
<b>Pb</b>	0,040	0,006	<0,026	0,070	<0,030	<0,011	<0,016	0,046	<0,008	<0,007	<0,013	0,031	<0,019	<0,053
<b>Zn</b>	0,143	0,017	0,060	0,245	0,651	0,053	0,066	0,186	0,080	0,141	0,045	0,144	0,072	0,220

Vrednosti sa predznakom „<” dobijene su deljenjem donje granice određivanja elementa u korenu zbog nedostatka vrednosti sa koncentracijom elementa u zemljištu.

Vrednosti sa predznakom „>” dobijene su deljenjem koncentracije elementa u korenu sa donjom granicom određivanja elementa u zemljištu zbog nedostatka vrednosti.

Naglašene vrednosti BCF označavaju efikasnu apsorpciju elemenata iz zemljišta u korenu.

„/” – koncentracije elemenata u korenu i zemljištu sa određenog mesta uzorkovanja su ispod donje granice određivanja.

**Tabela 81.** Translokacioni faktor (TF) elemenata za šipurak na ispitivanom području

Elementi	Mesta uzorkovanja													
	UI	U	SU	I1	I2	I3	I4	I5	R1	R2	T1	T2	S	K
Al	0,070	0,513	<b>2,414</b>	0,826	0,567	0,848	<b>1,370</b>	0,687	<b>1,655</b>	0,638	<b>2,251</b>	0,399	0,927	0,693
As	<b>1,786</b>	<b>&gt;2,487</b>	<b>&gt;1,671</b>	/	<b>&gt;1,624</b>	/	/	<b>&gt;1,525</b>	<b>&gt;3,343</b>	<b>8,806</b>	<b>&gt;1,363</b>	<b>&gt;1,719</b>	/	/
Cd	/	/	/	<0,273	<0,458	/	/	<0,902	/	<0,931	/	<0,668	/	/
Co	/	/	/	<0,417	/	/	/	/	/	<0,673	/	/	/	/
Cr	0,363	0,508	<b>2,249</b>	0,280	0,503	<b>5,009</b>	0,907	0,656	<b>1,493</b>	<b>4,563</b>	0,949	0,165	<b>1,107</b>	0,695
Cu	0,821	<b>1,031</b>	<b>7,424</b>	0,611	<b>1,046</b>	<b>2,032</b>	0,737	0,766	<b>3,596</b>	0,773	<b>1,919</b>	0,381	0,797	0,768
Fe	0,367	<b>1,214</b>	<b>5,182</b>	0,734	<b>1,300</b>	<b>1,008</b>	<b>2,072</b>	<b>1,526</b>	<b>3,782</b>	<b>7,833</b>	<b>4,516</b>	0,881	<b>1,688</b>	<b>1,175</b>
Mn	<b>3,338</b>	<b>13,425</b>	<b>31,615</b>	<b>9,242</b>	<b>2,471</b>	<b>9,573</b>	<b>11,236</b>	<b>5,036</b>	<b>24,808</b>	<b>9,982</b>	<b>7,430</b>	<b>5,256</b>	<b>5,655</b>	<b>5,885</b>
Mo	0,393	<b>&gt;2,780</b>	<b>&gt;2,143</b>	<b>1,615</b>	<b>&gt;1,583</b>	<b>&gt;1,400</b>	<b>&gt;1,333</b>	<b>&gt;2,210</b>	<b>&gt;2,490</b>	<b>&gt;6,907</b>	<b>&gt;1,477</b>	<b>&gt;1,767</b>	/	/
Ni	0,979	<b>1,034</b>	<b>3,274</b>	0,653	<b>1,541</b>	<b>2,422</b>	<b>1,782</b>	<b>1,358</b>	0,612	<b>1,481</b>	0,472	0,735	<b>2,736</b>	<b>2,579</b>
Pb	<b>1,715</b>	<b>1,547</b>	<b>&gt;2,905</b>	0,515	<b>&gt;2,599</b>	<b>&gt;1,688</b>	<b>&gt;1,832</b>	<b>2,311</b>	<b>&gt;5,715</b>	<b>&gt;15,349</b>	<b>&gt;3,802</b>	<b>1,005</b>	<b>&gt;0,983</b>	<b>&gt;1,204</b>
Zn	<b>1,185</b>	0,651	<b>1,895</b>	0,293	0,185	0,485	0,703	0,696	0,994	<b>1,451</b>	<b>1,848</b>	0,358	0,741	0,419

Vrednosti sa predznakom „<” dobijene su deljenjem donje granice određivanja elementa u opranom lišću zbog nedostatka vrednosti sa koncentracijom elementa u korenu.

Vrednosti sa predznakom „>” dobijene su deljenjem koncentracije elementa u opranom lišću sa donjom granicom određivanja elementa u korenu zbog nedostatka vrednosti.

Naglašene vrednosti TF označavaju efikasnu translokaciju elemenata iz korena do lišća.

„/” – koncentracije elemenata u opranom lišću i korenu sa određenog mesta uzorkovanja su ispod donje granice određivanja.

**Tabela 82.** Biološki koeficijent apsorpcije (BAC) elemenata za šipurak na ispitivanom području

Elementi	Mesta uzorkovanja													
	UI	U	SU	I1	I2	I3	I4	I5	R1	R2	T1	T2	S	K
<b>Al</b>	0,001	0,002	0,002	0,006	0,002	0,004	0,004	0,003	0,004	0,003	0,001	0,002	0,001	0,002
<b>As</b>	0,051	0,051	0,027	<0,042	0,061	<0,032	<0,017	0,047	0,028	0,054	0,018	0,021	<0,144	<0,106
<b>Cd</b>	<0,100	<0,049	<0,409	<0,450	<0,319	<0,060	<0,129	<0,272	<0,216	/	<0,104	<0,091	<0,332	/
<b>Co</b>	<0,012	<0,010	<0,009	<0,015	<0,013	<0,013	<0,017	<0,019	<0,013	<0,014	<0,008	<0,011	<0,009	<0,015
<b>Cr</b>	0,023	0,004	0,014	0,017	0,0123	0,123	0,009	0,042	0,013	0,031	0,020	0,012	0,011	0,009
<b>Cu</b>	0,057	0,014	0,078	0,116	0,117	0,113	0,014	0,063	0,023	0,059	0,036	0,023	0,023	0,170
<b>Fe</b>	0,005	0,003	0,003	0,005	0,004	0,005	0,007	0,004	0,007	0,014	0,002	0,003	0,002	0,004
<b>Mn</b>	0,039	0,077	0,363	0,260	0,323	0,093	0,109	0,213	0,194	0,475	0,062	0,103	0,039	0,204
<b>Mo</b>	0,346	0,015	0,422	0,436	0,522	0,244	0,108	0,493	0,151	0,319	0,267	0,288	<0,253	<0,294
<b>Ni</b>	0,149	0,020	0,114	0,168	0,169	0,070	0,052	0,139	0,075	0,163	0,051	0,061	0,075	0,079
<b>Pb</b>	0,069	0,009	0,076	0,036	0,080	0,019	0,029	0,106	0,049	0,120	0,053	0,031	0,019	0,064
<b>Zn</b>	0,169	0,011	0,113	0,072	0,120	0,026	0,046	0,129	0,079	0,204	0,083	0,051	0,053	0,092

Vrednosti sa predznakom „<” dobijene su deljenjem donje granice određivanja elementa u opranom lišću zbog nedostatka vrednosti sa koncentracijom elementa u zemljištu.

„/” – koncentracije elemenata u opranom lišću i zemljištu sa određenog mesta uzorkovanja su ispod donje granice određivanja.

**Tabela 83.** Spirmanovi koeficijenti korelacija ( $\rho$ ) između koncentracija elemenata u zemljištu i koncentracija elemenata u korenu i opranom lišću šipurka na ispitivanom području

Element	$\rho$	
	Zemljište - koren	Zemljište - oprano lišće
Al	0,191	-0,323
As	/	<b>0,733**</b>
Cd	/	/
Co	/	/
Cr	0,029	0,376
Cu	0,446	<b>0,697**</b>
Fe	-0,314	-0,116
Mn	-0,134	-0,051
Mo	/	0,469
Ni	-0,182	0,130
Pb	/	<b>0,675**</b>
Zn	0,042	0,385

\*\* Nivo značajnosti  $p < 0,01$  (dvostrano).

\* Nivo značajnosti  $p < 0,05$  (dvostrano).

Naglašene vrednosti označavaju statistički značajne korelacije.

„/” - Koeficijent korelacije nije izračunat za elemente kod kojih je broj uzoraka sa određenom koncentracijom elementa u korenu ili opranom lišću  $\leq 5$ .

#### 6.4.2. Biološki faktori za glog

Vrednosti biokoncentracionog (BCF), translokacionog faktora (TF) i biološkog koeficijenta apsorpcije (BAC) za glog, prikazane su u tabelama 84, 85 i 86.

Dobijene vrednosti BCF za glog (tabela 84) bile su  $< 1$ , zbog čega se smatra da je mala dostupna količina elemenata u zemljištu uticala na slabo usvajanje preko korena gloga na svim mestima uzorkovanja. Jedina vrednost BCF koja je vrlo malo  $> 1$  (BCF=1,097), zabeležena je za Mo na mestu R2. Prethodnim analizama potvrđeno je da je Mo antropogenog porekla, a mesto R2 je na pravcu dominantnih vetrova koji donose zagađujuće supstance iz industrijskog kompleksa i smatra se jednim od najzagađenijih. Na mestu R2 je kiselost zemljišta bila najveća na ispitivanom području (pH=4,91), ali sa većim sadržajem OM (11,29%). Takođe, jedino je na mestu R2 detektovan Mo u korenu gloga, što je verovatno uticalo da vrednost BCF za Mo bude  $> 1$ . Vrednosti Spirmanovih koeficijentata korelacija između koncentracija elemenata u zemljištu i korenu gloga

(tabela 87) nisu bile statistički značajne, osim za Cu, čime se potvrđuje da je usvajanje elemenata iz zemljišta preko korena gloga manjeg intenziteta.

Translokacioni faktor za glog (tabela 85) bio je  $>1$  za većinu elemenata na više mesta uzorkovanja (osim za Cd i Co). Iako visoke vrednosti TF ukazuju na efikasnu translokaciju elemenata iz korena do lišća gloga, korelacionom analizom između koncentracija elemenata u korenu i opranom lišću gloga (tabela 72, poglavlje 6.3.14.2), potvrđeno je postojanje translokacije jedino za Cu, na osnovu čega se slično kao i za šipurak može reći da je prisustvo elemenata u lišću gloga u najvećoj meri poreklom iz atmosfere deponicije.

Na osnovu vrednosti biološkog koeficijenta apsorpcije (BAC) (tabela 86) vidi se da je apsorpcija elemenata iz zemljišta do lišća gloga bila u opsegu od veoma slabe do srednje, i u jednom slučaju jaka. Apсорpcija Al i Fe je bila veoma slaba na svim mestima uzorkovanja, osim za Fe na mestu R2 gde je bila slaba. Intenzitet apsorpcije za Cd i Co na skoro svim mestima uzorkovanja bio je sa predznakom „ $<$ ”. Međutim, na mestima UI, R1 i R2 uočena je apсорpcija srednjeg intenziteta za Cd i slabog za Co na mestu R2. Apсорpcija slabog i srednjeg intenziteta bila je takođe zabeležena za As, Cr, Cu, Mn, Mo, Ni, Pb i Zn na većini mesta uzorkovanja. Jedini slučaj jake apсорpcije (BAC=1,318) zabeležen je za Mo na mestu R2. Dobijene vrednosti intenziteta apсорpcije elemenata iz zemljišta, ukazivale su na to da je njihov sadržaj u lišću gloga u većoj meri poreklom iz atmosfere. Statistički značajne pozitivne korelacije velike jačine (tabela 87), koje su dobijene između koncentracija elemenata u zemljištu i opranom lišću za As i Cu ukazuju da se ova dva elementa u lišću gloga delom usvajaju i iz zemljišta, što je i očekivano zbog njihovih izuzetno visokih koncentracija u zemljištu (poglavlje 6.2), naročito na mestima koja su bila pod direktnim uticajem antropogenog zagađenja.

#### **6.4.2.1. Mogućnosti korišćenja gloga u fitoremedijaciji**

Na osnovu izračunatih bioloških faktora za glog koji su prikazani u tabelama 84 i 85, vidi se da je kriterijum  $BCF > 1$  i  $TF > 1$  ispunjen samo za Mo na mestu R2. Kako više ni u jednom slučaju ovaj kriterijum nije ispunjen, smatra se da glog u uslovima ispitivanog područja nije pogodan za fitoekstrakciju ispitivanih elemenata, dok mogući

potencijal postoji jedino za fitoekstrakciju Mo. Glog takođe nije pogodna biljna vrsta za fitostabilizaciju ni za jedan od ispitivanih elemenata, jer nije ispunjen uslov  $BCF > 1$  i  $TF < 1$ .

Na osnovu vrednosti BAC (tabela 86) koje su bile  $< 1$  (Baker, 1981), zaključuje se da je glog ekskluder ispitivanih elemenata u uslovima na ispitivanom području. U slučaju Mo na mestu R2, vrednost BAC koja je bila  $> 1$  (BAC=1,318), ukazuje na moguću akumulaciju ovog elementa u lišću gloga, iako se na osnovu samo jedne vrednosti ne može doneti zaključak o sposobnostima gloga da akumulira Mo antropogenog porekla.

**Tabela 84.** Biokonzentracioni faktor (BCF) elemenata za glog na ispitivanom području

Elementi	Mesta uzorkovanja													
	UI	U	SU	I1	I2	I3	I4	I5	R1	R2	T1	T2	S	K
<b>Al</b>	0,001	0,001	0,002	0,003	0,003	0,001	0,000	0,001	0,004	0,001	0,001	0,006	0,002	0,001
<b>As</b>	<0,006	<0,010	<0,014	<0,050	<0,024	<0,057	<0,025	<0,029	<0,012	0,011	<0,008	<0,007	<0,086	<0,103
<b>Cd</b>	<0,054	<0,085	<0,103	<0,435	<0,299	<0,108	<0,255	<0,192	0,729	0,413	<0,048	0,267	<0,209	/
<b>Co</b>	<0,011	<0,009	<0,010	<0,013	<0,013	<0,011	<0,015	<0,023	<0,013	<0,013	<0,007	<0,010	<0,009	<0,012
<b>Cr</b>	0,011	0,014	<0,006	0,033	0,022	<0,009	0,004	0,017	0,012	0,007	<0,006	0,053	0,044	0,004
<b>Cu</b>	0,004	0,006	0,007	0,032	0,099	0,012	0,007	0,010	0,043	0,040	0,005	0,049	0,012	0,079
<b>Fe</b>	0,001	0,001	0,001	0,003	0,002	0,001	0,001	0,001	0,003	0,001	0,000	0,003	0,002	0,001
<b>Mn</b>	0,004	0,007	0,006	0,009	0,043	0,004	0,003	0,006	0,009	0,009	0,003	0,114	0,151	0,007
<b>Mo</b>	<0,053	<0,097	<0,086	<0,375	<0,366	<0,181	<0,150	<0,170	<0,162	<b>1,097</b>	<0,140	<0,158	<0,162	<0,352
<b>Ni</b>	0,039	0,021	0,051	0,066	0,077	0,016	0,016	0,049	0,159	0,060	<0,011	0,103	0,035	0,023
<b>Pb</b>	<0,008	<0,011	<0,010	<0,030	0,039	<0,015	<0,025	<0,027	<0,026	0,026	<0,012	0,055	<0,016	<0,053
<b>Zn</b>	0,175	0,034	0,197	0,300	0,233	0,029	0,068	0,165	0,183	0,247	0,029	0,148	0,158	0,243

Vrednosti sa predznakom „<” dobijene su deljenjem donje granice određivanja elementa u korenu zbog nedostatka vrednosti sa koncentracijom elementa u zemljištu.

Naglašene vrednosti BCF označavaju efikasnu apsorpciju elemenata iz zemljišta u korenu.

„/” – koncentracije elemenata u korenu i zemljištu sa određenog mesta uzorkovanja su ispod donje granice određivanja.



**Tabela 85.** Translokacioni faktor (TF) elemenata za glog na ispitivanom području

Elementi	Mesta uzorkovanja													
	UI	U	SU	I1	I2	I3	I4	I5	R1	R2	T1	T2	S	K
Al	1,671	1,044	1,691	2,903	1,335	3,42	13,215	4,052	0,913	4,758	3,001	0,341	1,236	1,549
As	>29,977	>2,463	>1,523	>1,473	>1,427	/	>1,829	>2,027	>4,868	6,195	>1,705	>2,628	/	/
Cd	>2,596	/	/	/	/	/	/	/	0,761	0,694	/	<0,713	/	/
Co	/	/	/	/	/	/	/	/	>1,009	>1,900	/	/	/	/
Cr	2,621	1,003	>1,731	0,441	0,800	>1,584	2,304	1,889	0,886	6,469	>1,779	0,385	0,366	2,425
Cu	9,225	3,588	4,272	5,279	1,223	3,286	5,885	4,813	2,282	3,128	6,583	0,768	1,152	2,143
Fe	9,802	2,766	3,624	2,569	2,180	2,835	10,937	5,083	2,018	38,249	4,572	0,982	1,532	2,497
Mn	8,513	2,740	7,042	6,761	2,695	5,570	14,202	8,349	5,710	8,297	7,735	0,264	0,159	12,839
Mo	>14,463	>2,477	>1,943	>1,853	>1,97	>1,197	>1,807	>2,517	>3,210	1,202	>1,610	>2,657	>1,250	/
Ni	3,354	0,627	1,496	2,020	1,939	2,664	2,077	0,942	0,588	2,395	>2,250	0,362	0,919	1,904
Pb	>28,383	>5,443	>3,902	>2,222	2,325	>2,224	>4,712	>4,619	>10,325	18,255	>8,549	1,522	>1,775	>1,198
Zn	1,562	2,250	0,370	0,704	1,201	2,586	2,333	0,834	1,435	1,367	2,664	1,413	0,686	0,924

Vrednosti sa predznakom „<” dobijene su deljenjem donje granice određivanja elementa u opranom lišću zbog nedostatka vrednosti sa koncentracijom elementa u korenu.

Vrednosti sa predznakom „>” dobijene su deljenjem koncentracije elementa u opranom lišću sa donjom granicom određivanja elementa u korenu zbog nedostatka vrednosti.

Naglašene vrednosti TF označavaju efikasnu translokaciju elemenata iz korena do lišća.

„/” – koncentracije elemenata u opranom lišću i korenu sa određenog mesta uzorkovanja su ispod donje granice određivanja.

**Tabela 86.** Biološki koeficijent apsorpcije (BAC) elemenata za glog na ispitivanom području

Elementi	Mesta uzorkovanja													
	UI	U	SU	I1	I2	I3	I4	I5	R1	R2	T1	T2	S	K
<b>Al</b>	0,002	0,001	0,003	0,008	0,004	0,003	0,006	0,005	0,004	0,005	0,002	0,002	0,002	0,002
<b>As</b>	0,182	0,025	0,023	0,075	0,036	<0,058	0,046	0,059	0,062	0,067	0,015	0,021	<0,086	<0,103
<b>Cd</b>	0,140	<0,085	<0,103	<0,435	<0,299	<0,108	<0,255	<0,192	0,555	0,286	<0,048	<0,191	<0,209	/
<b>Co</b>	<0,011	<0,009	<0,011	<0,013	<0,014	<0,012	<0,015	<0,023	0,013	<0,025	<0,007	<0,010	<0,009	<0,012
<b>Cr</b>	0,029	0,014	0,011	0,015	0,018	0,015	0,009	0,032	0,010	0,044	0,012	0,021	0,016	0,010
<b>Cu</b>	0,041	0,022	0,030	0,170	0,121	0,041	0,042	0,049	0,098	0,125	0,033	0,038	0,014	0,170
<b>Fe</b>	0,007	0,003	0,004	0,007	0,005	0,003	0,008	0,006	0,007	0,031	0,002	0,003	0,002	0,004
<b>Mn</b>	0,035	0,019	0,044	0,063	0,117	0,020	0,044	0,054	0,052	0,077	0,023	0,030	0,024	0,093
<b>Mo</b>	0,771	0,241	0,168	0,695	0,722	0,217	0,273	0,430	0,522	<b>1,318</b>	0,226	0,421	0,203	<0,353
<b>Ni</b>	0,132	0,013	0,076	0,134	0,149	0,043	0,033	0,046	0,094	0,145	0,026	0,037	0,032	0,044
<b>Pb</b>	0,237	0,063	0,041	0,068	0,090	0,035	0,121	0,125	0,273	0,472	0,107	0,084	0,029	0,064
<b>Zn</b>	0,273	0,077	0,073	0,211	0,279	0,075	0,158	0,137	0,262	0,338	0,078	0,209	0,108	0,224

Vrednosti sa predznakom „<” dobijene su deljenjem donje granice određivanja elementa u opranom lišću zbog nedostatka vrednosti sa koncentracijom elementa u zemljištu.

Naglašene vrednosti označavaju efikasnu akumulaciju elemenata.

„/” – koncentracije elemenata u opranom lišću i zemljištu sa određenog mesta uzorkovanja su ispod donje granice određivanja.

**Tabela 87.** Spirmanovi koeficijenti korelacija ( $\rho$ ) između koncentracija elemenata u zemljištu i koncentracija elemenata u korenu i opranom lišću gloga na ispitivanom području

Element	$\rho$	
	Zemljište - koren	Zemljište - oprano lišće
Al	0,160	0,033
As	/	<b>0,727**</b>
Cd	/	/
Co	/	/
Cr	-0,173	0,358
Cu	<b>0,582**</b>	<b>0,749**</b>
Fe	0,231	-0,209
Mn	0,116	-0,393
Mo	/	0,363
Ni	0,352	0,172
Pb	/	0,429
Zn	0,059	0,231

\*\* Nivo značajnosti  $p < 0,01$  (dvostrano).

Naglašene vrednosti označavaju statistički značajne korelacije.

„/” - Koeficijent korelacije nije izračunat za elemente kod kojih je broj uzoraka sa određenom koncentracijom elementa u korenu ili opranom lišću  $\leq 5$ .

### 6.4.3. Biološki faktori za trnjinu

Vrednosti bioloških faktora (BCF, TF i BAC) za trnjinu sa ispitivanog područja prikazane su u tabelama 88, 89 i 90.

Veoma mala dostupna količina elemenata u zemljištu iz zone korena trnjine potvrđena je dobijenim vrednostima BCF (tabela 88), koje su bile  $< 1$ , kao i u slučaju prethodno analiziranih biljnih vrsta. Jedina vrednost BCF koja je bila  $> 1$  (BCF=1,308) zabeležena je za Cd na mestu I2. Slično kao i kod šipurka, mesto I2 je u neposrednoj blizini površinskog kopa Cerovo, pa su verovatno uslovi okolonog zemljišta doveli do veće vrednosti BCF. Vrednosti Spirmanovih koeficijenata korelacija između koncentracija elemenata u zemljištu i korenu trnjine (tabela 91), pokazale su statističku značajnost samo za Cu ( $\rho=0,565$ ;  $p < 0,05$ ) i Ni ( $\rho=0,635$ ;  $p < 0,05$ ), čime se potvrđuje da je usvajanje elemenata iz zemljišta preko korena trnjine manjeg intenziteta.

Vrednosti TF za trnjinu (tabela 89) bile su  $> 1$  za većinu elemenata na više mesta uzorkovanja, ukazujući na efikasnu translokaciju elemenata iz korena do lišća. Uprkos

tome, zbog izostanka korelacija između koncentracija elemenata u korenu i opranom lišću trnjine (tabela 76, poglavlje 6.3.14.3), kao i  $BCF < 1$ , može se zaključiti da se elementi u lišću trnjine u najvećoj meri usvajaju iz atmosferske depozicije.

Dobijene vrednosti biološkog koeficijenta apsorpcije (BAC) (tabela 90) ukazuju da je apsorpcija elemenata iz zemljišta do lišća trnjine, vrlo slabog do jakog intenziteta. Vrlo slaba apsorpcija je ostvarena za Al na većini mesta i za Fe na nekoliko mesta uzorkovanja. Za sve ostale elemente apsorpcija je bila slabog do srednjeg intenziteta. Intenzitet apsorpcije za As, Cd, Co, Mo i Pb je na većini mesta bio sa predznakom „<“. Jaka apsorpcija je zabeležena za Cd na mestu UI (BAC=2,174) i Mo na mestima UI (BAC=1,102) i R2 (BAC=1,511). Upoređujući vrednosti BAC za trnjinu sa vrednostima za šipurak i glog, zaključuje se da trnjina ima malo veće vrednosti BAC. Ipak, kao i kod šipurka i gloga, zbog malog intenziteta apsorpcije iz zemljišta za većinu elemenata, smatra se da je sadržaj elemenata u lišću trnjine u većoj meri poreklom iz vazduha. Međutim, jake statistički značajne pozitivne korelacije (tabela 91), dobijene između koncentracija elemenata u zemljištu i opranom lišću trnjine za Cu i Mo, ukazuju da se deo ovih elemenata u lišću trnjine usvaja i iz zemljišta.

#### 6.4.3.1. Mogućnosti korišćenja trnjine u fitoremedijaciji

Kriterijum za mogućnost korišćenja trnjine u fitoekstrakciji ( $BCF > 1$ ,  $TF > 1$ ) nije ostvaren ni za jedan element. Što se tiče mogućnosti korišćenja trnjine u fitostabilizaciji, kriterijum  $BCF > 1$  i  $TF < 1$  ispunjen je samo za Cd na mestu I2.

Vrednosti BAC (tabela 90) koje su bile  $< 1$  (Baker, 1981), ukazivale su da je trnjina biljka ekskluder za analizirane elemente u uslovima ispitivanog područja. Za elemente Cd na mestu UI, i Mo na mestima UI i R2, vrednost BAC je bila  $> 1$ , zbog čega se može reći da je potencijalno moguća akumulacija ovih elemenata u lišću trnjine.

Tabela 88. Biokoncentracijski faktor (BCF) elemenata za trnjinu na ispitivanom području

Elementi	Mesta uzorkovanja													
	UI	U	SU	I1	I2	I3	I4	I5	R1	R2	T1	T2	S	K
<b>Al</b>	0,006	0,006	0,004	0,001	0,003	0,006	0,011	0,006	0,005	0,008	0,004	0,003	0,007	0,003
<b>As</b>	<0,006	0,022	<0,019	<0,063	<0,069	<0,047	<0,036	<0,034	<0,037	0,025	0,018	<0,008	<0,081	<0,131
<b>Cd</b>	<0,538	<0,124	<0,133	<0,540	>1,308	<0,263	/	0,547	<0,286	0,113	0,547	0,502	<0,298	/
<b>Co</b>	<0,007	<0,008	<0,010	<0,011	<0,0124	<0,016	<0,017	<0,027	<0,012	<0,010	<0,008	<0,009	<0,012	<0,015
<b>Cr</b>	0,011	0,027	0,021	0,056	0,011	0,020	0,019	0,018	0,014	0,098	0,027	0,013	0,016	0,006
<b>Cu</b>	0,014	0,092	0,028	0,041	0,154	0,092	0,048	0,067	0,045	0,083	0,081	0,065	0,016	0,143
<b>Fe</b>	0,002	0,003	0,002	0,001	0,002	0,008	0,014	0,008	0,004	0,008	0,002	0,002	0,007	0,003
<b>Mn</b>	0,007	0,013	0,009	0,006	0,050	0,029	0,010	0,036	0,014	0,014	0,015	0,007	0,008	0,009
<b>Mo</b>	<0,120	<0,127	<0,150	<0,497	<0,511	<0,288	<0,178	0,308	<0,253	0,873	<0,369	<0,143	<0,163	<0,312
<b>Ni</b>	0,043	0,055	0,054	0,048	0,271	0,064	0,036	0,034	0,035	0,093	0,034	0,055	0,038	0,025
<b>Pb</b>	<0,025	<0,018	<0,019	<0,039	<0,037	0,024	<0,038	<0,033	<0,030	0,026	0,035	0,084	<0,015	<0,049
<b>Zn</b>	0,372	0,148	0,116	0,199	0,759	0,086	0,263	0,161	0,196	0,183	0,283	0,330	0,057	0,159

Vrednosti sa predznakom „<” dobijene su deljenjem donje granice određivanja elementa u korenu zbog nedostatka vrednosti sa koncentracijom elementa u zemljištu.

Vrednosti sa predznakom „>” dobijene su deljenjem koncentracije elementa u korenu sa donjom granicom određivanja elementa u zemljištu zbog nedostatka vrednosti.

Naglašene vrednosti BCF označavaju apsorpciju elemenata iz zemljišta u korenu.

„?” – koncentracije elemenata u korenu i zemljištu sa određenog mesta uzorkovanja su ispod donje granice određivanja.

**Tabela 89.** Translokacioni faktor (TF) elemenata za trnjinu na ispitivanom području

Elementi	Mesta uzorkovanja													
	UI	U	SU	I1	I2	I3	I4	I5	R1	R2	T1	T2	S	K
Al	0,625	0,286	<b>2,058</b>	<b>6,951</b>	<b>1,640</b>	<b>1,496</b>	<b>1,005</b>	<b>1,442</b>	<b>1,865</b>	0,417	0,554	0,946	0,468	<b>1,085</b>
As	<b>&gt;17,116</b>	<b>3,191</b>	<b>&gt;4,062</b>	<b>&gt;1,426</b>	/	<b>&gt;1,263</b>	<b>&gt;1,297</b>	<b>&gt;3,268</b>	<b>&gt;3,259</b>	<b>7,906</b>	<b>1,551</b>	<b>&gt;2,740</b>	/	/
Cd	<b>&gt;4,044</b>	<b>&gt;1,017</b>	<b>&gt;1,397</b>	/	<0,510	/	/	<0,554	/	<b>2,833</b>	<0,514	<0,332	/	/
Co	<b>&gt;1,451</b>	/	/	/	/	/	/	/	<b>&gt;1,000</b>	/	/	/	/	/
Cr	<b>3,168</b>	0,522	<b>1,569</b>	0,554	<b>1,431</b>	<b>1,155</b>	<b>1,263</b>	<b>1,235</b>	<b>1,986</b>	0,363	<b>1,219</b>	<b>4,635</b>	<b>2,429</b>	<b>2,401</b>
Cu	<b>16,525</b>	0,621	<b>7,252</b>	<b>3,935</b>	<b>1,248</b>	<b>1,514</b>	<b>1,756</b>	<b>1,667</b>	<b>3,666</b>	<b>1,594</b>	0,684	0,992	<b>2,080</b>	<b>1,535</b>
Fe	<b>6,669</b>	<b>1,123</b>	<b>4,331</b>	<b>4,592</b>	<b>3,683</b>	<b>1,240</b>	<b>1,331</b>	<b>1,794</b>	<b>4,317</b>	<b>2,391</b>	<b>1,880</b>	<b>2,291</b>	0,817	<b>1,840</b>
Mn	<b>5,798</b>	<b>3,616</b>	<b>11,352</b>	<b>15,514</b>	<b>2,977</b>	<b>2,292</b>	<b>4,509</b>	<b>2,131</b>	<b>4,655</b>	<b>1,832</b>	<b>1,834</b>	<b>4,339</b>	<b>4,387</b>	<b>9,316</b>
Mo	<b>&gt;9,157</b>	<b>&gt;2,503</b>	<b>&gt;4,577</b>	<b>&gt;1,813</b>	<b>&gt;1,220</b>	<b>&gt;1,477</b>	<b>&gt;1,820</b>	<b>1,374</b>	<b>&gt;2,800</b>	<b>1,732</b>	<b>&gt;2,147</b>	<b>&gt;2,803</b>	/	/
Ni	<b>4,779</b>	<b>1,146</b>	<b>2,661</b>	<b>3,280</b>	0,336	<b>2,091</b>	0,984	<b>2,000</b>	<b>2,524</b>	0,871	<b>1,328</b>	<b>1,882</b>	<b>2,044</b>	<b>3,205</b>
Pb	<b>&gt;23,330</b>	<b>&gt;5,745</b>	<b>&gt;10,196</b>	<b>&gt;2,362</b>	<b>&gt;2,310</b>	<b>3,222</b>	<b>&gt;3,010</b>	<b>&gt;6,916</b>	<b>&gt;6,720</b>	<b>14,035</b>	<b>3,761</b>	<b>1,260</b>	<b>&gt;1,560</b>	<b>&gt;1,476</b>
Zn	<b>1,594</b>	0,801	<b>1,791</b>	0,743	0,177	<b>1,010</b>	0,563	<b>1,307</b>	0,923	<b>1,488</b>	0,380	0,406	0,775	0,854

Vrednosti sa predznakom „<” dobijene su deljenjem donje granice određivanja elementa u opranom lišću zbog nedostatka vrednosti sa koncentracijom elementa u korenu.

Vrednosti sa predznakom „>” dobijene su deljenjem koncentracije elementa u opranom lišću sa donjom granicom određivanja elementa u korenu zbog nedostatka vrednosti.

Naglašene vrednosti TF označavaju translokaciju elemenata iz korena do lišća.

„/” – koncentracije elemenata u opranom lišću i korenu sa određenog mesta uzorkovanja su ispod donje granice određivanja.

**Tabela 90.** Biološki koeficijent apsorpcije (BAC) elemenata za trnjinu na ispitivanom području

Elementi	Mesta uzorkovanja													
	UI	U	SU	I1	I2	I3	I4	I5	R1	R2	T1	T2	S	K
<b>Al</b>	0,004	0,002	0,008	0,010	0,006	0,009	0,011	0,008	0,010	0,003	0,002	0,003	0,003	0,003
<b>As</b>	0,111	0,070	0,080	0,091	<0,069	0,060	0,048	0,114	0,124	0,196	0,028	0,023	<0,081	<0,132
<b>Cd</b>	<b>2,174</b>	0,126	0,186	<0,540	/	<0,263	/	<0,303	<0,286	0,320	<0,281	<0,166	<0,298	/
<b>Co</b>	<0,010	<0,008	<0,010	<0,012	<0,012	<0,016	<0,017	<0,028	0,012	<0,010	<0,009	<0,010	<0,013	<0,015
<b>Cr</b>	0,034	0,014	0,032	0,031	0,016	0,023	0,024	0,022	0,028	0,035	0,033	0,061	0,038	0,015
<b>Cu</b>	0,229	0,057	0,203	0,160	0,193	0,139	0,084	0,111	0,164	0,132	0,056	0,065	0,034	0,220
<b>Fe</b>	0,011	0,004	0,011	0,007	0,007	0,010	0,018	0,014	0,019	0,019	0,004	0,005	0,006	0,005
<b>Mn</b>	0,040	0,047	0,101	0,098	0,148	0,067	0,046	0,076	0,067	0,025	0,028	0,029	0,033	0,084
<b>Mo</b>	<b>1,102</b>	0,318	0,687	0,902	0,624	0,426	0,326	0,423	0,709	<b>1,511</b>	0,792	0,401	<0,163	<0,313
<b>Ni</b>	0,205	0,063	0,143	0,156	0,091	0,134	0,036	0,068	0,089	0,081	0,045	0,104	0,078	0,080
<b>Pb</b>	0,593	0,106	0,203	0,093	0,087	0,076	0,115	0,231	0,202	0,359	0,132	0,106	0,025	0,073
<b>Zn</b>	0,594	0,118	0,207	0,148	0,134	0,087	0,148	0,210	0,181	0,272	0,108	0,134	0,045	0,136

Vrednosti sa predznakom „<” dobijene su deljenjem donje granice određivanja elementa u opranom lišću zbog nedostatka vrednosti sa koncentracijom elementa u korenu.

Naglašene vrednosti označavaju akumulaciju elemenata.

„/” – koncentracije elemenata u opranom lišću i korenu sa određenog mesta uzorkovanja su ispod donje granice određivanja.

**Tabela 91.** Spirmanovi koeficijenti korelacija ( $\rho$ ) između koncentracija elemenata u zemljištu sa koncentracijama elemenata u korenu i opranom lišću trnjine na ispitivanom području

Element	$\rho$	
	Zemljište - koren	Zemljište - oprano lišće
<b>Al</b>	0,477	0,209
<b>As</b>	/	0,582
<b>Cd</b>	/	/
<b>Co</b>	/	/
<b>Cr</b>	0,125	0,516
<b>Cu</b>	<b>0,565*</b>	<b>0,780**</b>
<b>Fe</b>	-0,160	0,187
<b>Mn</b>	0,108	0,209
<b>Mo</b>	/	<b>0,776**</b>
<b>Ni</b>	<b>0,635*</b>	0,235
<b>Pb</b>	/	0,495
<b>Zn</b>	0,007	0,433

\*\* Nivo značajnosti  $p < 0,01$  (dvostrano).

\* Nivo značajnosti  $p < 0,05$  (dvostrano).

Naglašene vrednosti označavaju statistički značajne korelacije.

„/” - Koeficijent korelacije nije izračunat za elemente kod kojih je broj uzoraka sa određenom koncentracijom elementa u korenu ili opranom lišću  $\leq 5$ .



## 7. ZAKLJUČAK

Istraživanje koje je sprovedeno u okviru doktorske disertacije ogledalo se u ispitivanju mogućnosti korišćenja šipurka, gloga i trnjine u biomonitoringu, radi dobijanja kompletnijih podataka o zagađenju vazduha, zemljišta iz zone korena odabranih biljaka, kao i u ispitivanju mogućnosti korišćenja datih biljaka u svrhe fitoremedijacije zemljišta. U okviru ispitivanog područja Bora i okoline, odabrano je 14 mesta uzorkovanja zemljišta i biljnog materijala, koja su se nalazila na različitim udaljenostima od rudarsko-metalurškog kompleksa za proizvodnju bakra i plemenitih metala, odlagališta raskrivke sa površinskih kopova ruda bakra i flotacijskih jalovišta. Ispitivano je 12 elemenata (Al, As, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni, Pb i Zn) u uzorcima površinskog sloja zemljišta i različitim delovima šipurka, gloga i trnjine. Cilj je bio utvrđivanje koji su delovi biljaka najpogodniji za praćenje kvaliteta životne sredine, kao i uticaja dominantnih izvora zagađenja na ispitivanom području Bora i okoline, analizom elemenata u korenu, granama, plodovima, neopranom i opranom lišću odabranih biljnih vrsta.

Analiza zemljišta iz zone korena ispitivanih biljaka, koje je uzorkovano na ispitivanom području, obuhvatala je određivanje koncentracija elemenata, izračunavanje faktora obogaćenja, korelacionu analizu elemenata, kao i određivanje statističkih značajnosti razlika koncentracija elemenata u zemljištu iz zone korena šipurka, gloga i trnjine, između kontrolnog i ostalih mesta uzorkovanja. Koncentracije elemenata u zemljištu su upoređivane sa zakonom propisanim graničnim i remedijacionim vrednostima. Dobijeni rezultati su ukazali da je zemljište sa ispitivanog područja sadržalo veoma visoke koncentracije bakra i ostalih elemenata koji se nalaze kao prateće primese u rudi bakra. Najveća prekoračenja graničnih i/ili remedijacionih vrednosti elemenata u zemljištu zabeležena su za As, Cd, Co i Cu na većem broju mesta uzorkovanja. U manjoj meri, uočena su prekoračenja graničnih vrednosti u zemljištu za Mo, Pb, Ni i Zn, uglavnom na mestima u blizini izvora zagađenja (UI, U, SU, I3, I4) ili na pravcima dominantnih vetrova (R1, R2, T1, T2). Stepent kontaminacije zemljišta iz zone korena odabranih biljnih vrsta na ispitivanom području procenjen je na osnovu vrednosti faktora obogaćenja zemljišta. Faktori obogaćenja zemljišta sa određenog mesta su dobijeni u odnosu na koncentracije elemenata u zemljištu iz kontrolne zone.

Koncentracije elemenata iz kontrolne zone nisu prekoračivale granične i remedijacione vrednosti (osim za Co koji je prirodno sadržan u većim koncentracijama na ispitivanom području). Na osnovu dobijenih vrednosti faktora obogaćenja potvrđeno je da je zemljište sa ispitivanog područja, naročito u zonama koje se smatraju zagađenim, kontaminirano različitim elementima. Faktori obogaćenja zemljišta, koji su u najvećem broju uzoraka bili u kategoriji značajnog i veoma visokog obogaćenja (i ekstremnog u nekoliko uzoraka), zabeleženi su za As i Cu, dok je u većini uzoraka zemljišta iz zone korena sve tri biljne vrste zabeleženo umereno i značajno obogaćenje elementima Cd, Mo, Pb i Zn. Na osnovu detaljne analize, zaključeno je da As, Cu, Cd, Mo, Pb i Zn u zemljištu iz zone korena šipurka, gloga i trnjine potiču iz procesa rudarsko-metalurške proizvodnje bakra. Obogaćenja zemljišta nije bilo ni na jednom mestu uzorkovanja za Al i Cr, čime je potvrđeno njihovo prirodno poreklo u zemljištu. Međutim, za elemente Co, Fe, Mn i Ni za koje je takođe utvrđeno prirodno poreklo u analiziranom zemljištu, obogaćenje koje je detektovano na po jednom mestu uzorkovanja za Co (UI) i Ni (U), kao i na više mesta uzorkovanja za Fe (UI, U i T1) i Mn (UI, U, I3, T1 i T2), ukazuje da industrijske aktivnosti doprinose povećanju koncentracija ovih elemenata na mestima koja se nalaze u blizini izvora zagađenja ili na pravcu dominantnih vetrova. Ovakav zaključak je potvrđen i statistički značajnim razlikama između koncentracija elemenata u zemljištu sa kontrolnog mesta u odnosu na ostala mesta uzorkovanja. U zoni saobraćaja koja je udaljena od industrijskog kompleksa oko 20 km, zabeleženo je obogaćenje zemljišta elementima Cd, Cu, Mo, Pb i Zn. Ovakvi rezultati ukazuju da je, osim porekla ovih elemenata iz izduvnih gasova, celokupno ispitivano područje pod određenim uticajem zagađenja iz procesa proizvodnje bakra.

Analiza ispitivanih elemenata u korenu, granama, plodovima, neopranom i opranom lišću šipurka, gloga i trnjine pružila je uvid u mogućnost primene ispitivanih biljnih vrsta u biomonitoringu i fitoremedijaciji zemljišta na ispitivanom području Bora i okoline. Upoređivanjem koncentracija Al, As, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni, Pb i Zn u delovima šipurka, gloga i trnjine, zaključeno je da je lišće sve tri biljne vrste sadržalo najveće koncentracije navedenih elemenata (osim Zn čiji je sadržaj bio najveći u korenu šipurka, i granama gloga i trnjine, u najvećem broju uzoraka). Dobijene koncentracije As, Cd, Cu, Fe, Mo i Pb, kao i vrednosti faktora obogaćenja biljnog materijala, bile su najveće, naročito u uzorcima neopranog i opranog lišća, na mestima

koja su najbliža primarnom izvoru zagađenja (UI, U) i na pravcu dominantnih vetrova (ruralna i turistička zona). U opranom lišću su zabeležene toksične koncentracije As i Cu, na minimalno jednom mestu uzorkovanja za svaku biljnu vrstu. Za elemente As, Cd, Cu, Fe, Mo i Pb u biljnom materijalu je zaključeno da potiču iz rudarsko-metalurške proizvodnje bakra, zbog čega se može smatrati da se lišće šipurka, gloga i trnjine, može koristiti u biomonitoringu životne sredine i za određivanje oblasti koje su zagađene navedenim elementima. Međutim, zbog sličnih koncentracija elemenata u delovima biljaka (naročito neoprano i oprano lišće), ne može se definisati koja od tri ispitivane biljne vrste ima više potencijala za primenu u biomonitoringu, jer su sve tri biljne vrste pokazale sličan odgovor na zagađenje na ispitivanom području. Za praćenje koncentracija Zn, čije je poreklo u biljnom materijalu takođe antropogeno, na osnovu koncentracija i vrednosti faktora obogaćenja, osim lišća i grane su se pokazale podjednako pogodnim.

Na ispitivanom području, poreklo elemenata Cr, Mn i Ni u biljnom materijalu je u većoj meri prirodno, dok na pojedinim mestima, koja su pod uticajem industrijskog zagađenja, dolazi do povećanja njihovih koncentracija. Međutim, ne može se sa sigurnošću tvrditi u kojoj meri su ispitivane biljke pogodne za biomonitoring ovih elemenata. Zbog velikog broja uzoraka u kojima su koncentracije Co bile ispod granice određivanja, takođe se ne može reći da li se šipurak, glog i trnjina mogu koristiti za biomonitoring Co. Koncentracije Al u biljnom materijalu su uglavnom bile najveće na mestima u industrijskoj zoni, zbog čega se smatra da procesi iskopavanja ruda i odlaganje raskrivke imaju najveći uticaj na sadržaj Al u biljnom materijalu, zbog resuspenzije čestica zemljišta.

Faktori obogaćenja biljnog materijala, koji su bili najveći za As, Cu i Pb u uzorcima neoprano lišća (naročito na mestima UI i R2), dostizali su vrednosti iz kategorija značajnog i veoma visokog obogaćenja, a u nekim slučajevima i ekstremnog, dok je za Fe, Mo i Zn obogaćenje biljnog materijala bilo umereno sa najvećim vrednostima na mestima UI i R2. Usled koncentracija ispod granica određivanja za Cd i Co (As i Mo za koren, grane i plodove), za veći broj uzoraka nije bilo moguće odrediti faktor obogaćenja. Obogaćenje manjeg broja uzoraka biljnog materijala šipurka, gloga i trnjine elementima Cr, Mn i Ni bilo je umereno i to uglavnom na mestima iz industrijske, urbano-industrijske i ruralne zone, na osnovu čega se može reći da

rudarsko-metalurška proizvodnja bakra ima uticaja na koncentracije ovih elemenata u uzorcima na mestima uzorkovanja koja se nalaze u blizini izvora zagađenja ili na pravcima vetrova.

Utvrđivanje prisustva i količine elemenata u atmosferskoj depoziciji ostvareno je na osnovu razlika koncentracija elemenata u neopranom i opranom lišću ispitivanih biljnih vrsta, kao i na osnovu nivoa statističkih značajnosti dobijenih razlika. Najveće razlike koncentracija u neopranom i opranom lišću za većinu elemenata (naročito za Al, Fe i Cu), ostvarene su na mestima uzorkovanja UI i R2, ali i na pojedinim mestima u industrijskoj zoni (I1, I2, I3). Statističke značajnosti razlika koncentracija pojedinačnih elemenata u neopranom i opranom lišću šipurka, gloga i trnjine su potvrđene za većinu elemenata. Za elemente Cd, Co, Cr, Mn i Ni (minimalno za jednu biljnu vrstu) nisu ostvarene statističke značajnosti razlika usled koncentracija u uzorcima opranog i/ili neopranog lišća, koje su bile ispod donje granice određivanja (Cd i Co), niskih koncentracija u uzorcima (Cr i Ni) ili usled mogućeg rastvaranja u vodi tokom procesa pranja i ponovnog usvajanja u lišću (Mn). Pozitivne korelacije veće statističke značajnosti ( $p < 0,01$ ) koje su dobijene između koncentracija elemenata u neopranim delovima ispitivanih biljnih vrsta ukazivale su na njihovo zajedničko poreklo, dok su korelacije između koncentracija elemenata u opranim delovima ukazivale na moguće slične mehanizme usvajanja elemenata. Izostanak korelacija između elemenata u korenu i opranom lišću, ukazale su da nema aktivnog transporta elemenata iz korena do lišća ispitivanih biljaka.

U doktorskoj disertaciji razmatrana je i mogućnost korišćenja šipurka, gloga i trnjine u fitoremedijaciji zemljišta na ispitivanom području Bora i okoline. Vrednosti biokoncentracionog faktora (BCF) za sve tri biljne vrste u većini slučajeva bile su  $< 1$ , na osnovu čega je zaključeno da je usvajanje elemenata iz zemljišta preko korena sve tri biljke veoma nisko. Izuzetak su bile vrednosti  $BCF > 1$  za Cd na mestu I1 za šipurak, na mestu I2 za trnjinu i Mo na mestu R2 za glog. Na ovim mestima su karakteristike zemljišta iz zone korena biljaka, kao što je velika kiselost, mogle dovesti do većih vrednosti BCF.

Intenzitet apsorpcije elemenata iz zemljišta do lišća šipurka, gloga i trnjine, analiziran na osnovu vrednosti biološkog koeficijenta apsorpcije (BAC), kretao se od veoma slabog do srednjeg za većinu elemenata, kao i jakog intenziteta u slučajevima za

Mo na mestu R2 (glog i trnjina) i mestu UI (trnjina), i Cd na mestu UI (trnjina). Na osnovu dobijenih vrednosti BAC, zaključeno je da je poreklo ispitivanih elemenata u najvećoj meri iz atmosfere. Statistički značajne jake pozitivne korelacije koje su dobijene između koncentracija elemenata u zemljištu i opranom lišću šipurka za As, Cu i Pb, gloga za As i Cu, kao i trnjine za Cu i Mo, ukazuju da je poreklo ovih elemenata u lišću sve tri biljne vrste delom i iz zemljišta. Takođe, vrednosti BAC koje su u gotovo svim uzorcima bile  $<1$  potvrđuju da se ispitivane biljne vrste ponašaju kao ekskluderi analiziranih elemenata u postojećim uslovima zagađenja ispitivanog područja.

Kriterijumi za mogućnost korišćenja šipurka, gloga i trnjine u fitoekstrakciji ( $BCF > 1$ ,  $TF > 1$ ) i fitostabilizaciji ( $BCF > 1$  i  $TF < 1$ ) nisu ostvareni za analizirane elemente. Iako postoji mogući potencijal za fitostabilizaciju Cd na mestu I1 pomoću šipurka i na mestu I2 pomoću trnjine, kao i potencijal za fitoekstrakciju Mo na mestu R2 pomoću gloga, ne može se samo na osnovu ovih slučajeva tvrditi da su ispitivane biljke pogodne za svrhe fitostabilizacije.

Rezultati ovog istraživanja su pokazali da su urbano-industrijska, urbana, ruralna i turistička zona ispitivanog područja okarakterisane kao najzagađenije, tako da bi nastavak istraživanja u narednom periodu mogao pružiti uvid u poboljšanje kvaliteta životne sredine nakon početka rada novih postrojenja za topljenje ruda bakra i proizvodnju sumporne kiseline.

Šipurak, glog i trnjina pokazale su se kao tolerantne biljne vrste, koje opstaju u različitim uslovima okoline, ali i kao biljne vrste pogodne za identifikaciju zagađenih područja. S obzirom da se ove biljne vrste (naročito plodovi) koriste u ljudskoj ishrani i lekovite svrhe, njihovo korišćenje u istraživanjima vezanim za zaštitu životne sredine može biti od velikog značaja, naročito zbog mogućeg ulaza toksičnih elemenata u lanac ishrane.

---

## 8. LITERATURA

- Akan J. C., Audu S. I., Mohammed Z., Ogugbuaja V. O.; Assessment of heavy metals, pH, organic matter and organic carbon in roadside soils in Makurdi Metropolis, Benue State, Nigeria. *Journal of Environmental Protection*, 4 (2013) 618-628.
- Angelov G., Boyadzhieva S. S., Georgieva S. S.; Rosehip extraction: Process optimization and antioxidant capacity of extracts. *Central European Journal of Chemistry*, 12 (4) (2014) 502-508.
- Ashraf M. A., Maah M. J., Yusoff I.; Heavy metals accumulation in plants growing in ex tin mining catchment. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 8 (2) (2011) 401-416.
- Baker A. J. M.; Accumulators and excluders - strategies in the response of plant to heavy metals. *Journal of plant nutrition*, 3 (1-4) (1981) 643-654.
- Başgel S., Erdemoğlu S. B.; Determination of mineral and trace elements in some medicinal herbs and their infusions consumed in Turkey. *Science of the Total Environment*, 359 (2006) 82-89.
- Boamponsem L. K., Adam J. I., Dampare S. B., Nyarko B. J. B., Essumang D. K.; Assessment of atmospheric heavy metal deposition in the Tarkwa gold mining area of Ghana using epiphytic lichens. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B*, 268 (2010) 1492-1501.
- Boyd R. S.; The defense hypothesis of elemental hyperaccumulation: status, challenges and new directions. *Plant and Soil*, 293 (2007) 153-176.
- Bravo S., Amorós J. A., Pérez-de-los-Reyes C., García F. J., Moreno M. M., Sánchez-Ormeño M., Higuera P.; Influence of the soil pH in the uptake and bioaccumulation of heavy metals (Fe, Zn, Cu, Pb and Mn) and other elements (Ca, K, Al, Sr and Ba) in vine leaves, Castilla-La Mancha (Spain). *Journal of Geochemical Exploration*, 174 (2017) 79-83.
- Calabrese S., D'Alessandro W., Bellomo S., Brusca L., Martin R. S., Saiano F., Parello F.; Characterization of the Etna volcanic emissions through an active biomonitoring technique (*moss-bags*): Part 1 - Major and trace element composition. *Chemosphere*, 119 (2015) 1447-1455.
- Calzoni G. L., Antognoni F., Pari E., Fonti P., Gnes A., Speranza A.; Active biomonitoring of heavy metal pollution using *Rosa rugosa* plants. *Environmental Pollution*, 149 (2007) 239-245.
- Cape J. N.; Plants as Accumulators of Atmospheric Emissions, Chapter 3 in: *Developments in Environmental Science*; Editor: Legge A. H.; Elsevier Ltd., Amsterdam, 2009.
- Çelik A., Kartal A. A., Akdoğan A., Kaska Y.; Determining the heavy metal pollution in Denizli (Turkey) by using *Robinio pseudo-acacia* L. *Environment International*, 31 (2005) 105-112.
- Christou A., Theologides C. P., Costa C., Kalavrouziotis I. K., Varnavas S. P.; Assessment of toxic heavy metals concentrations in soils and wild and cultivated

- plant species in Limni abandoned copper mining site, Cyprus. *Journal of Geochemical Exploration*, 178 (2017) 16-22.
- Damascos M. A., Arribere M., Svriz M., Bran D.; Fruit Mineral Contents of Six Wild Species of the North Andean Patagonia, Argentina. *Biological Trace Element Research*, 125 (2008) 72-80.
- Demir F., Özcan M.; Chemical and technological properties of rose (*Rosa canina* L.) fruits grown wild in Turkey. *Journal of Food Engineering*, 47 (2001) 333-336.
- de Paula P. H. M., Mateus V. L., Araripe D. R., Duyck C. B., Saint’Pierre T. D., Gioda A.; Biomonitoring of metals for air pollution assessment using a hemiepiphyte herb (*Struthanthus flexicaulis*). *Chemosphere*, 138 (2015) 429-437.
- De Temmerman L., Waegeneers N., Ruttens A., Vandermeiren K.; Accumulation of atmospheric deposition of As, Cd and Pb by bush bean plants. *Environmental Pollution*, 199 (2015) 83-88.
- Desideri D., Meli M. A., Roselli C.; Determination of essential and non-essential elements in some medicinal plants by polarised X ray fluorescence spectrometer (EDPXRF). *Microchemical Journal*, 95 (2010) 174-180.
- Dolek U., Gunes M., Genc N., Elmastas M.; Total phenolic compound and antioxidant activity changes in rosehip (*Rosa* sp.) during ripening. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 20 (2018) 817-828.
- Eash N. S., Sauer T. J., O’Dell D., Odoi E.; Soil Science Simplified. Sixth edition. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 2016.
- EEC/86/278 – Official Journal of the European Communities, Council Directive of 12 June 1986 on the protection of the environment, and in particular of the soil, when sewage sludge is used in agriculture (EEC/86/278), 1986.
- EIA, Environmental Impact Assessment, New Smelter and Sulphuric Acid Plant, Volume 1 – Main Report, Project# 338158; Faculty of Technology and Metallurgy University of Belgrade, SNC Lavalin, 2010.
- Elekes C. C.; Eco-technological solutions for the remediation of polluted soil and heavy metal recovery, Chapter 10 *u*: Environmental Risk Assessment of Soil Contamination; Editor: Hernandez Soriano M. C.; InTech, 2014.
- Enuneku A., Biose E., Ezemonye L.; Levels, distribution, characterization and ecological risk assessment of heavy metals in road side soils and earthworms from urban high traffic areas in Benin metropolis, Southern Nigeria. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 5 (2017) 2773-2781.
- Ercisli S.; Rose (*Rosa* spp.) germplasm resources of Turkey. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 52 (2005) 787-795.
- Ercisli S.; Chemical composition of fruits in some rose (*Rosa* spp.) species. *Food Chemistry*, 104 (2007) 1379-1384.
- ERM, Environmental Resources Management; Analiza stanja životne sredine od šteta nastalih kao posledica prethodnog rada RTB Bor - Finalni izveštaj. Agencija za privatizaciju - Republika Srbija, 2006.

- Farraji H.; Wastewater treatment by phytoremediation technologies, Chapter 7 u: Wastewater Engineering: Types, Characteristics and Treatment Technologies; Editors: Aziz H. A., Mojiri A.; IJSR Publications, Penang, Malaysia, 2014.
- Favas P. J. C., Pratas J., Prasad M. N. V.; Temporal variation in the arsenic and metal accumulation in the maritime pine tree grown on contaminated soils. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 10 (2013) 809-826.
- Figurska-Ciura D., Bronkowska M., Orzeł D., Styczyńska M., Wyka J., Łoźna K., Biernat J., Żechałko-Czajkowska A.; Cadmium Content in Plant Products Cultivated Near a Copperworks. *Polish Journal of Environmental Studies*, 19 (6) (2010) 1383-1390.
- Fowles G. W. A.; Lead content of roadside fruit and berries. *Food Chemistry*, (1) (1976) 33-39.
- Gentscheva G. D., Stafilov T., Ivanova E. H.; Determination of some essential and toxic elements in herbs from Bulgaria and Macedonia using atomic spectrometry. *Eurasian Journal of Analytical Chemistry*, 5 (2) (2010) 104-111.
- Ghaderian S. M., Ravandi A. A. G.; Accumulation of copper and other heavy metals by plants growing on Sarcheshmeh copper mining area, Iran. *Journal of Geochemical Exploration*, 123 (2012) 25-32.
- Ghori Z., Iftikhar H., Bhatti M. F., Nasar-um-Minullah, Sharma I., Kazi A. G., Ahmad P., Phytoextraction: The use of plants to remove heavy metals from soil, Chapter 15 u: Plant Metal Interaction. Emerging Remediation Techniques; Editor: Ahmad P.; Elsevier Inc., Amsterdam, Netherlands, 2016.
- Goji G., Dinulică F.; Distribution of some heavy metals in different hawthorn organs. *Bulletin of the Transilvania University of Braşov. Series II: Forestry, Wood Industry, Agricultural Food Engineering*, 4 (53) (2) (2011) 47-52.
- Hamurcu M., Özcan M. M., Dursun N., Gezgin S.; Mineral and heavy metal levels of some fruits grown at the roadsides. *Food and Chemical Toxicology*, 48 (2010) 1767-1770.
- Hooda V.; Phytoremediation of toxic metals from soil and waste water. *Journal of Environmental Biology*, 28(2) (2007) 367-376.
- IRM Bor; Godišnji izveštaji o kontroli kvaliteta vazduha u Boru za period 2009–2013. godine. Institut za rudarstvo i metalurgiju u Boru.
- ISO 2005, International Organisation for Standardisation, Soil Quality: Determination of pH, 10390:2005. ISO, Geneva.
- Kabata-Pendias A.; Trace elements in soils and plants. Fourth edition. CRC Press, Boca Raton, Florida, 2011.
- Kalinovic J. V., Serbula S. M., Radojevic A. A., Milosavljevic J. S., Kalinovic T. S., Steharnik M. M.; Assessment of As, Cd, Cu, Fe, Pb, and Zn concentrations in soil and parts of Rosa spp. sampled in extremely polluted environment. *Environmental Monitoring and Assessment*, 191 (2019) 15.
- Kalinovic T. S., Serbula S. M., Kalinovic J. V., Radojevic A. A., Petrovic J. V., Steharnik M. M., Milosavljevic J. S.; Suitability of linden and elder in the



- assessment of environmental pollution of Brestovac spa and Bor lake (Serbia). *Environmental Earth Sciences*, 76 (4) (2017) 178.
- Kalinovic T. S., Serbula S. M., Radojevic A. A., Kalinovic J. V., Steharnik M. M., Petrovic J. V.; Elder, linden and pine biomonitoring ability of pollutionemitted from the copper smelter and the tailings ponds. *Geoderma*, 262 (2016) 266-275.
- Kalny P., Fijałek Z., Daszczyk A., Ostapczuk P.; Determination of selected microelements in polish herbs and their infusions. *Science of the Total Environment*, 381 (2007) 99-104.
- Kalra Y. P.; Handbook of reference methods for plant analysis. CRC Press, Boca Raton, Florida, 1998.
- Kara D.; Evaluation of trace metal concentrations in some herbs and herbal teas by principal component analysis. *Food Chemistry*, 114 (2009) 347-354.
- Kostić D., Mitić S., Zarubica A., Mitić M., Veličković J., Randjelović S.; Content of trace metals in medicinal plants and their extracts. *Hemijska Industrija*, 65 (2) (2011) 165-170.
- Koz B., Cevik U., Akbulut S.; Heavy metal analysis around Murgul (Artvin) copper mining area of Turkey using moss and soil. *Ecological Indicators*, 20 (2012) 17-23.
- Kwiatkowska-Malina J.; Functions of organic matter in polluted soils: The effect of organic amendments on phytoavailability of heavy metals. *Applied Soil Ecology*, 123 (2018) 542-545.
- LEAP, Lokalni Ekološki Akcioni Plan Opštine Bor, Marjanović T., Trumić M., Marković Lj., Bor, 2003.
- Little P.; A study of heavy metal contamination of leaf surfaces. *Environmental Pollution*, 5 (1973) 159-172.
- Little P., Martin M. H.; A survey of zinc, lead and cadmium in soil and natural vegetation around a smelting complex. *Environmental Pollution*, 3 (1972) 241-254.
- Lehndorff E., Schwark L.; Biomonitoring of air quality in the Cologne Conurbation using pine needles as a passive sampler – Part III: Major and trace elements. *Atmospheric Environment*, 44 (2010) 2822-2829.
- Lodenus M.; Use of plants for biomonitoring of airborne mercury in contaminated areas. *Environmental Research*, 125 (2013) 113-123.
- Lorestani B., Cheraghi M., Yousefi N.; Accumulation of Pb, Fe, Mn, Cu and Zn in plants and choice of hyperaccumulator plant in the industrial town of Vian, Iran. *Archives of Biological Sciences*, 63 (3) (2011) 739-745.
- Lorestani B., Yousefi N., Cheraghi M., Farmany A.; Phytoextraction and phytostabilization potential of plants grown in the vicinity of heavy metal-contaminated soils: a case study at an industrial town site. *Environ Monit Assess*, 185 (2013) 10217-10223.
- Madejón P., Lepp N. W.; Arsenic in soils and plants of woodland regenerated on an arsenic-contaminated substrate: A sustainable natural remediation?. *Science of the Total Environment*, 379 (2007) 256-262.

- Malik J., Frankova A., Drabek O., Szakova J., Ash C., Kokoska L.; Aluminium and other elements in selected herbal tea plant species and their infusions. *Food Chemistry*, 139 (2013) 728-734.
- Malandrino M., Giacomino A., Abollino O., Allio A., Toniolo R., Colombo M. L.; Determination of major, minor and trace elements in Glyceric Macerates and Mother Tinctures and in the starting plant materials. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 106 (2015) 167-178.
- Mao Y., Sang S., Liu S., Jia J.; Spatial distribution of pH and organic matter in urban soils and its implications on site-specific land uses in Xuzhou, China. *Comptes Rendus Biologies*, 337 (2014) 332-337.
- Marakoğlu T., Arslan D., Özcan M., Haciseferoğulları H.; Proximate composition and technological properties of fresh blackthorn (*Prunus spinosa* L. subsp *dasyphylla* (Schur.)) fruits. *Journal of Food Engineering*, 68 (2005) 137-142.
- Marbaniang D., Chaturvedi S. S.; Assessment on Cr, Cd, As, Ni and Pb uptake and phyremediation potential of *Scirpus mucronatus*. *International Journal of scientific research and management (IJSRM)*, 2 (6) (2014) 965-969.
- Markert B. A., Breure A. M., Zechmeiste H. G.; Definitions, strategies and principles for bioindication/biomonitoring of the environment, Chapter 1 *u*: Bioindicators and biomonitors: Principles, Concepts and Applications; Editors: Markert B. A., Breure A. M., Zechmeister H. G.; Elsevier Science Ltd., 2003.
- Markert B., Wappelhorst O., Weckert V., Herpin U., Siewers U., Friese K., Breulmann G.; The use of bioindicators for monitoring the heavy-metal status of the environment. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 240 (2) (1999) 425-429.
- Masarovičová E., Král'ová K.; Plant-Heavy Metal Interaction: Phytoremediation, biofortification and nanoparticles, advances, *u*: Selected plant physiology aspects, Editors: Montanaro G., Dichio B.; InTech, 2012.
- Matin G., Kargar N., Buyukisik H. B.; Bio-monitoring of cadmium, lead, arsenic and mercury in industrial districts of Izmir, Turkey by using honey bees, propolis and pine tree leaves. *Ecological Engineering*, 90 (2016) 331-335.
- McCauley A., Jones C., Olson-Rutz K.; Soil pH and organic matter. Nutrient management module, no. 8, Montana State University, 4449-8, 2017.
- Mendoza R. E., García I. V., de Cabo L., Weigandt C. F., de Iorio A. F.; The interaction of heavy metals and nutrients present in soil and native plants with arbuscular mycorrhizae on the riverside in the Matanza-Riachuelo River Basin (Argentina). *Science of the Total Environment*, 505 (2015) 555-564.
- Mingorance M. D., Valdés B., Oliva S. R.; Strategies of heavy metal uptake by plants growing under industrial emissions; *Environment International*, 33 (2007) 514-520.
- Muhammad S., Shah M. T., Khan S.; Heavy metal concentrations in soil and wild plants growing around Pb–Zn sulfide terrain in the Kohistan region, northern Pakistan. *Microchemical Journal*, 99 (2011) 67-75.

- Nagaraju A., Karimulla S.; Accumulation of elements in plants and soils in and around Nellere mica belt, Andhra Pradesh, India – a biogeochemical study. *Environmental Geology*, 41 (2002) 852-860.
- Nađpal J. D., Lesjak M. M., Šibul F. S., Anačkov G. T., Četojević-Simin D. D., Mimica-Dukić N. M., Beara I. N.; Comparative study of biological activities and phytochemical composition of two rose hips and their preserves: *Rosa canina* L. and *Rosa arvensis* Huds. *Food Chemistry*, 192 (2016) 907-914.
- Nouri J., Lorestani B., Yousefi N., Khorasani N., Hasani A. H., Seif F., Cheraghi M.; Phytoremediation potential of native plants grown in the vicinity of Ahangaran lead–zinc mine (Hamedan, Iran). *Environmental Earth Sciences*, 62 (2011) 639-644.
- Olowoyo J. O., Okedeyi O. O., Mkolo N. M., Lion G. N., Mdakane S. T. R.; Uptake and translocation of heavy metals by medicinal plants growing around a waste dump site in Pretoria, South Africa. *South African Journal of Botany*, 78 (2012) 116-121.
- Ovečka M., Takáč T.; Managing heavy metal toxicity stress in plants: Biological and biotechnological tools. *Biotechnology Advances*, 32 (2014) 73-86.
- Özcan M. M., Ünver A., Uçar T., Arslan D.; Mineral content of some herbs and herbal teas by infusion and decoction. *Food Chemistry*, 106 (2008) 1120-1127.
- Pallant J.; SPSS priručnik za preživljavanje, Postupni vodič kroz analizu podataka pomoću SPSS-a za Windows (verzija 15), Prevod 3. izdanja. Mikro knjiga, Beograd, 2009.
- Peer W. A., Baxter I. R., Richards E. L., Freeman J. L., Murphy A. S.; Phytoremediation and hyperaccumulator plants, *u: Molecular Biology of Metal Homeostasis and Detoxification*; Editors: Tamas M. J., Martinoia E.; Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2005.
- Peralta-Videa J. R., Lopez M. L., Narayan M., Saupe G., Gardea-Torresdey J.; The biochemistry of environmental heavy metal uptake by plants: Implications for the food chain. *The International Journal of Biochemistry & Cell Biology*, 41 (2009) 1665-1677.
- Petrova S., Yurukova L., Velcheva I.; Possibilities of using deciduous tree species in trace element biomonitoring in an urban area (Plovdiv, Bulgaria). *Atmospheric Pollution Research*, 5 (2014) 196-202.
- Petkovšek S. A. S., Pokorný B.; Lead and cadmium in mushrooms from the vicinity of two large emission sources in Slovenia. *Science of the Total Environment*, 443 (2013) 944-954.
- Popis; Popis stanovništva, domaćinstava i stanova, Usporedni pregled broja stanovnika od 1948. do 2011. godine; Podaci po naseljima. Republički zavod za statistiku, Beograd, 2014.
- Quenea K., Lamy I., Winterton P., Bermond A., Dumat C.; Interactions between metals and soil organic matter in various particle size fractions of soil contaminated with waste water. *Geoderma*, 149 (2009) 217-223.

- Radojević A. A.; Biomonitoring vazduha i fitoremedijacija zemljišta upotrebom hrasta, smreke i lešnika; doktorska disertacija. Univerzitet u Beogradu, Tehnički fakultet u Boru. Bor, 2017.
- Radojevic A. A., Serbula S. M., Kalinovic T. S., Kalinovic J. V., Steharnik M. M., Petrovic J. V., Milosavljevic J. S.; Metal/metalloid content in plant parts and soils of *Corylus* spp. influenced by mining–metallurgical production of copper. *Environ Sci Pollut Res*, 24 (2017) 10326–10340.
- Rai P. K.; Impacts of particulate matter pollution on plants: Implications for environmental biomonitoring. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 129 (2016) 120-136.
- Randjelovic S. S., Kostic D. A., Stojanovic G. S., Mitic S. S., Mitic M. N., Arsic B. B., Pavlovic A. N.; Metals content of soil, leaves and wild fruit from Serbia. *Central European Journal Of Chemistry*, 12 (11) (2014) 1144-1151.
- Randelović S. S., Kostic D. A., Zarubica A. R., Mitić S. S., Mitić M. N.; The correlation of metal content in medicinal plants and their water extracts. *Hemijska Industrija*, 67 (4) (2013) 585-591.
- Ražić S. S., Đogo S. M., Slavković L. J.; Multivariate characterization of herbal drugs and rhizosphere soil samples according to their metallic content. *Microchemical Journal*, 84 (2006) 93-101.
- Reglero M. M., Monsalve-González L., Taggart M. A., Mateo R.; Transfer of metals to plants and red deer in an old lead mining area in Spain. *Science of the Total Environment*, 406 (2008) 287-297.
- Rucandio M. I., Petit-Domínguez M. D., Fidalgo-Hijano C., García-Giménez R.; Biomonitoring of chemical elements in an urban environment using arboreal and bush plant species. *Environmental Science and Pollution Research*, 18 (2011) 51-63.
- Sarma H.; Metal hyperaccumulation in plants: a review focusing on phytoremediation technology. *Journal of Environmental Science and Technology*, 4 (2) (2011) 118-138.
- Schreck E., Foucault Y., Sarret G., Sobanska S., Cécillon L., Castrec-Rouelle M., Uzu G., Dumat C.; Metal and metalloid foliar uptake by various plant species exposed to atmospheric industrial fallout: Mechanisms involved for lead. *Science of the Total Environment*, 427-428 (2012) 253-262.
- Sekeroglu N., Ozkutlu F., Kara M., Ozguven M.; Determination of cadmium and selected micronutrients in commonly used and traded medicinal plants in Turkey. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 88 (2008) 86-90.
- Serbula S. M., Ilic A. A., Kalinovic J. V., Kalinovic T. S., Petrovic N. B.; Assessment of air pollution originating from copper smelter in Bor (Serbia). *Environ Earth Sci*, 71 (2014) 1651-1661.
- Serbula S. M., Kalinovic T. S., Kalinovic, J. V., Ilic A. A.; Exceedance of air quality standards resulting from pyro-metallurgical production of copper: a case study, Bor (Eastern Serbia). *Environmental Earth Sciences*, 68 (2013) 1989-1998.

- Serbula S. M., Milosavljevic J. S., Radojevic A. A., Kalinovic J. V., Kalinovic T. S.; Extreme air pollution with contaminants originating from the mining–metallurgical processes. *Science of the Total Environment*, 586 (2017) 1066-1075.
- Shah K., Nongkynrih J. M.; Metal hyperaccumulation and bioremediation. *Biologia plantarum*, 51 (4) (2007) 618-634.
- Shahid M., Dumat C., Khalid S., Schreck E., Xiong T., Niazi N. K.; Foliar heavy metal uptake, toxicity and detoxification in plants: A comparison of foliar and root metal uptake. *Journal of Hazardous Materials*, 325 (2017) 36-58.
- Shiyab S.; Phytoaccumulation of Copper from Irrigation Water and Its Effect on the Internal Structure of Lettuce. *Agriculture*, 29 (8) (2018).
- Smodš B., Parr R. M.; Biomonitoring of air pollution as exemplified by recent IAEA programs. *Biological Trace Element Research*, 71-72 (1999) 257-266.
- Soleimani M., Akbar S., Hajabbasi M. A.; Enhancing phytoremediation efficiency in response to environmental pollution stress, Chapter 1 *u*: Plants and environment, Editors: Vasanthaiah H. KN., Kambiranda D.; InTech, 2011.
- Sparks D. L.; Environmental Soil Chemistry. Second Edition. Academic Press, Amsterdam, 2003.
- Stefanut M. N. , David I., Stanoiev Z., Macarie C.; The monitoring of heavy metals in fruits. *Chemical Bulletin of Politehnica University of Timisoara*, 52 (66) 1-2 (2007) 147-151.
- Szentmihályi K., Vinkler P., Lakatos B., Illés V., Then M.; Rose hip (*Rosa canina* L.) oil obtained from waste hip seeds by different extraction methods. *Bioresource technology*, 82 (2002) 195-201.
- Šerbula S. M., Antonijević M. M. Milošević N.M., Milić S. M., Ilić A. A.; Concentrations of particulate matter and arsenic in Bor (Serbia). *Journal of Hazardous Materials*, 181 (1-3) (2010) 43-51.
- Šerbula S. M., Živković D. T., Radojević A. A., Kalinović T. S., Kalinović J. V. Emission of SO<sub>2</sub> and SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> from copper smelter and its influence on the level of total S in soil and moss in Bor, Serbia, and the surroundings. *Hemijska Industrija*, 69 (1) (2015) 51-58.
- Tracy T. S.; Hawthorn, Chapter 13 *u*: Herbal Products: Toxicology and Clinical Pharmacology. Second Edition. Editors: Tracy T. S., Kingston R. L., Humana Press, Totowa, New Jersey, 2007.
- Tomašević M., Aničić M., Jovanović Lj., Perić-Grujić A., Ristić M.; Deciduous tree leaves in trace elements biomonitoring: A contribution to methodology; *Ecological Indicators*, 11 (2011) 1689-1695.
- Tokaloğlu Ş.; Determination of trace elements in commonly consumed medicinal herbs by ICP-MS and multivariate analysis. *Food Chemistry*, 134 (2012) 2504-2508.
- Uredba br. 88/10; Uredba o programu sistemskog praćenja kvaliteta zemljišta, indikatorima za ocenu rizika od degradacije zemljišta i metodologiji za izradu remedijacionih programa, br. 88/2010. „Službeni glasnik Republike Srbije” (2010).

- Uredba br. 63/13; Uredba o uslovima za monitoring i zahtevima kvaliteta vazduha, br. 11/2010, 75/2010, 63/2013. „Službeni glasnik Republike Srbije” (2013).
- USDA, 1996; Soil quality: Organic matter. Soil quality information sheet. Natural resources conservation service, U.S. Department of agriculture, 1996.
- USDA, 1998; Soil Quality Indicators: pH. Soil quality information sheet. . Natural resources conservation service, U.S. Department of agriculture, 1998.
- USEPA, 1996; United States Environmental Protection Agency, Acid Digestion of Sediments, Sludges, and Solids (3050B), Washington, DC, 1996.
- USEPA, 2000; Introduction to Phytoremediation. National Risk Management Research Laboratory, Office of Research and Development, U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio 45268, 2000.
- USEPA, 2003; Ecological Soil Screening Level for Aluminum, Interim Final; OSWER Directive 9285.7-60, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC 20460, 2003.
- USEPA, 2007; Framework for Metals Risk Assessment. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC 20460, 2007.
- Vural A.; Biogeochemical characteristics of *Rosa canina* grown in hydrothermally contaminated soils of the Gümüşhane Province, Northeast Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, 187 (2015a) 486.
- Vural A.; Assessment of metal pollution associated with an alteration area: Old Gümüşhane, NE Black Sea. *Environmental Science and Pollution Research*, 22 (2015b) 3219-3228.
- WHO, 2007; WHO guidelines for assessing quality of herbal medicines with reference to contaminants and residues. World Health Organization, 2007.
- WHO, 2010; WHO monographs on medicinal plants commonly used in the Newly Independent States (NIS). World Health Organization, 2010.
- Wolterbeek B.; Biomonitoring of trace element air pollution: principles, possibilities and perspectives. *Environmental Pollution*, 120 (2002) 11-21.
- [www.amskv.sepa.gov.rs](http://www.amskv.sepa.gov.rs); Automatski monitoringa kvaliteta vazduha u Republici Srbiji, Agencija za zaštitu životne sredine Republike Srbije (SEPA).
- [www.opstinabor.rs/ekologija/](http://www.opstinabor.rs/ekologija/); Zvanična stranica opštine Bor - izveštaji o kvalitetu vazduha.
- [www.scopus.com](http://www.scopus.com); Baza naučne literature.
- Yanqun Z., Yuana L., Schwartz C., Langlade L., Fand L.; Accumulation of Pb, Cd, Cu and Zn in plants and hyperaccumulator choice in Lanping lead–zinc mine area, China. *Environment International*, 30 (2004) 567-576.
- Yildirim D., Sasmaz A.; Phytoremediation of As, Ag, and Pb in contaminated soils using terrestrial plants grown on Gumuskoy mining area (Kutahya Turkey). *Journal of Geochemical Exploration*, 182 (2017) 228–234.
- Zeiner M., Juranović Cindrić I., Požgaj M., Pirkl R., Šilić T., Stinger G.; Influence of soil composition on the major, minor and trace metal content of Velebit biomedical plants. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 106 (2015) 153-158.

- Zeng F., Ali S., Zhang H., Ouyang Y., Qiu B., Wu F., Zhang G.; The influence of pH and organic matter content in paddy soil on heavy metal availability and their uptake by rice plants. *Environmental Pollution*, 159 (2011) 84-91.
- Zseni A., & Goldie H., Bárányi-Kevei I.; Limestone pavements in Great Britain and the role of soil cover in their evolution. *Acta carsologica*, 32 (1) (2003) 57-67.
- Živkov-Baloš M., Mihaljev Ž., Čupić Ž., Jakšić S., Apić J., Ljubojević D., Prica N.; Determination of some essential elements in herbal teas from Serbia using atomic spectrometry (AAS). *Savremena poljoprivreda*, 63 (4-5) (2014) 394-402.

## **9. PRILOZI**



## **Biografija**

### **Jelena (Vasa) Kalinović**

Jelena Kalinović (devojačko Strojčić) rođena je 17.05.1984. godine u Boru, gde je završila osnovnu i srednju Tehničku školu. Osnovne akademske studije na Tehničkom fakultetu u Boru upisala je 2003. godine na odseku za Neorgansku hemijsku tehnologiju, smer Inženjerstvo za zaštitu životne sredine. Studije je završila 2008. godine sa prosečnom ocenom 8,19 i ocenom 10 (deset) na diplomskom radu. Iste godine, upisala je diplomatske akademske studije na studijskom programu Tehnološko inženjerstvo na matičnom fakultetu. Diplomatske akademske studije je završila 2010. godine sa prosečnom ocenom 9,50 i ocenom 10 (deset) na diplomskom radu, čime je stekla akademski naziv master inženjer tehnologije. Doktorske akademske studije, upisala je 2010. godine na Tehničkom fakultetu u Boru, odsek Tehnološko inženjerstvo.

Od oktobra 2008. godine radila je na Tehničkom fakultetu u Boru, kao saradnik u nastavi, a od 2010. do juna 2018. godine kao asistent. Bila je angažovana na osnovnim i master akademskim studijama na predmetima: Neorganska hemija, Zagađenje i zaštita vazduha, Organske zagađujuće materije, Tehnologija vode, Zagađenje i zaštita zemljišta i Analiza tehnoloških procesa i zaštita životne sredine.

Bila je angažovana na dva projekta Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije, sa početkom realizacije 2011. godine, pod nazivima:

- 1) “Razvoj novih inkapsulacionih i enzimskih tehnologija za proizvodnju biokatalizatora i biološki aktivnih komponenata hrane u cilju povećanja njene konkurentnosti, kvaliteta i bezbednosti“ (broj projekta III46010, podprojekat 7);
- 2) “Usavršavanje tehnologija eksploatacije i prerade rude bakra sa monitoringom životne i radne sredine u RTB Bor grupa” (broj projekta TR33038).

Bila je učesnica projekta Centra za promociju nauke u Boru, u okviru Karavana nauke „Timočki Naučni Tornado - TNT“ održanog tokom 2017. godine, koji sprovodi Društvo mladih istraživača Bor. Bila je član organizacionog odbora međunarodne konferencije EcoTER (Ecological Truth and Environmental Research) koja je bila održana 2018. godine.

Jelena Kalinović je autor ili koautor 10 radova publikovanih u vodećim međunarodnim časopisima iz kategorije M20 (3 rada kategorije M21, 6 rada kategorije M22 i 1 rad kategorije M23), 5 radova publikovanih u časopisima nacionalnog značaja iz kategorije M50 (5 radova kategorije M51), 31 saopštenja sa konferencija međunarodnog značaja, 5 saopštenja nacionalnog značaja, 1 poglavlje u monografiji nacionalnog značaja, kao i 7 poglavlja u stranim knjigama.

## Izjava o autorstvu

Ime i prezime autora Jelena V. Kalinović

Broj indeksa 3/2010

### Izjavljujem

da je doktorska disertacija pod naslovom **MOGUĆNOSTI KORIŠĆENJA ŠIPURKA, GLOGA I TRNJINE U BIOMONITORINGU I FITOREMEDIJACIJI**

- rezultat sopstvenog istraživačkog rada;
- da disertacija u celini ni u delovima nije bila predložena za sticanje druge diplome prema studijskim programima drugih visokoškolskih ustanova;
- da su rezultati korektno navedeni i
- da nisam kršila autorska prava i koristila intelektualnu svojinu drugih lica.

U Beogradu, \_\_\_\_\_

Potpis autora

\_\_\_\_\_

# Izjava o istovetnosti štampane i elektronske verzije doktorskog rada

Ime i prezime autora **Jelena V. Kalinović**

Broj indeksa **3/2010**

Studijski program **Tehnološko inženjerstvo**

Naslov rada **MOGUĆNOSTI KORIŠĆENJA ŠIPURKA, GLOGA I TRNJINE U BIOMONITORINGU I FITOREMEDIJACIJI**

Mentor **prof. dr Snežana M. Šerbula**

Izjavljujem da je štampana verzija mog doktorskog rada istovetna elektronskoj verziji koju sam predala radi pohranjena u **Digitalnom repozitorijumu Univerziteta u Beogradu**.

Dozvoljavam da se objave moji lični podaci vezani za dobijanje akademskog naziva doktora nauka, kao što su ime i prezime, godina i mesto rođenja i datum odbrane rada.

Ovi lični podaci mogu se objaviti na mrežnim stranicama digitalne biblioteke, u elektronskom katalogu i u publikacijama Univerziteta u Beogradu.

U Beogradu, \_\_\_\_\_

Potpis autora

\_\_\_\_\_

## Izjava o korišćenju

Ovlašćujem Univerzitetsku biblioteku „Svetozar Marković“ da u Digitalni repozitorijum Univerziteta u Beogradu unese moju doktorsku disertaciju pod naslovom:

### **MOGUĆNOSTI KORIŠĆENJA ŠIPURKA, GLOGA I TRNJINE U BIOMONITORINGU I FITOREMEDIJACIJI**

koja je moje autorsko delo.

Disertaciju sa svim prilogima predala sam u elektronskom formatu pogodnom za trajno arhiviranje.

Moju doktorsku disertaciju pohranjenu u Digitalnom repozitorijumu Univerziteta u Beogradu i dostupnu u otvorenom pristupu mogu da koriste svi koji poštuju odredbe sadržane u odabranom tipu licence Kreativne zajednice (Creative Commons) za koju sam se odlučio/la.

1. Autorstvo (CC BY)
2. Autorstvo – nekomercijalno (CC BY-NC)
3. Autorstvo – nekomercijalno – bez prerada (CC BY-NC-ND)
4. Autorstvo – nekomercijalno – deliti pod istim uslovima (CC BY-NC-SA)
5. Autorstvo – bez prerada (CC BY-ND)
6. Autorstvo – deliti pod istim uslovima (CC BY-SA)

(Molimo da zaokružite samo jednu od šest ponuđenih licenci.

Kratak opis licenci je sastavni deo ove izjave).

U Beogradu, \_\_\_\_\_

Potpis autora

\_\_\_\_\_

1. **Autorstvo.** Dozvoljavate umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje dela, i prerade, ako se navede ime autora na način određen od strane autora ili davaoca licence, čak i u komercijalne svrhe. Ovo je najslobodnija od svih licenci.

2. **Autorstvo – nekomercijalno.** Dozvoljavate umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje dela, i prerade, ako se navede ime autora na način određen od strane autora ili davaoca licence. Ova licenca ne dozvoljava komercijalnu upotrebu dela.

3. **Autorstvo – nekomercijalno – bez prerada.** Dozvoljavate umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje dela, bez promena, preoblikovanja ili upotrebe dela u svom delu, ako se navede ime autora na način određen od strane autora ili davaoca licence. Ova licenca ne dozvoljava komercijalnu upotrebu dela. U odnosu na sve ostale licence, ovom licencom se ograničava najveći obim prava korišćenja dela.

4. **Autorstvo – nekomercijalno – deliti pod istim uslovima.** Dozvoljavate umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje dela, i prerade, ako se navede ime autora na način određen od strane autora ili davaoca licence i ako se prerada distribuira pod istom ili sličnom licencom. Ova licenca ne dozvoljava komercijalnu upotrebu dela i prerada.

5. **Autorstvo – bez prerada.** Dozvoljavate umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje dela, bez promena, preoblikovanja ili upotrebe dela u svom delu, ako se navede ime autora na način određen od strane autora ili davaoca licence. Ova licenca dozvoljava komercijalnu upotrebu dela.

6. **Autorstvo – deliti pod istim uslovima.** Dozvoljavate umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje dela, i prerade, ako se navede ime autora na način određen od strane autora ili davaoca licence i ako se prerada distribuira pod istom ili sličnom licencom. Ova licenca dozvoljava komercijalnu upotrebu dela i prerada. Slična je softverskim licencama, odnosno licencama otvorenog koda.

## OCENA IZVEŠTAJA O PROVERI ORIGINALNOSTI DOKTORSKE DISERTACIJE

Na osnovu Pravilnika o postupku provere originalnosti doktorskih disertacija koje se brane na Univerzitetu u Beogradu i nalaza u izveštaju iz programa iThenticate kojim je izvršena provera originalnosti doktorske disertacije „MOGUĆNOSTI KORIŠĆENJA ŠIPURKA, GLOGA I TRNJINE U BIOMONITORINGU I FITOREMEDIJACIJI”, autora Jelene V. Kalinović, konstatujem da utvrđeno podudaranje teksta iznosi 10%. Ovaj stepen podudarnosti posledica je korišćenja opštih bibliografskih podataka, kao i iste metode istraživanja u okviru projektne radne grupe i već objavljenih naučnih rezultata u proteklih par godina. Takođe se podudarnosti javljaju u okviru citiranih radova iste radne grupe, što je u skladu sa članom 9. Pravilnika.

Na osnovu svega iznetog, a u skladu sa članom 8. stav 2. Pravilnika o postupku provere originalnosti doktorskih disertacija koje se brane na Univerzitetu u Beogradu, izjavljujem da izveštaj ukazuje na originalnost doktorske disertacije, te se propisani postupak pripreme za njenu odbranu može nastaviti.

11. april 2019. godine

Mentor

Dr Snežana M. Šerbula, redovni profesor  
Univerzitet u Beogradu  
Tehnički fakultet u Boru  
ul. Vojske Jugoslavije 12  
19210 Bor