

UNIVERZITET U BEOGRADU

BIOLOŠKI FAKULTET

Zorana D. Mataruga

**Sadržaj potencijalno toksičnih elemenata
u odabranim drvenastim vrstama
kao bioindikatorima zagađenja
obalne zone reke Save**

doktorska disertacija

Beograd, 2021. godine

UNIVERSITY OF BELGRADE
FACULTY OF BIOLOGY

Zorana D. Mataruga

**The content of potentially toxic elements
in selected woody species
as bioindicators of pollution
in the riparian zone of the Sava River**

Doctoral Dissertation

Belgrade, 2021.

Komisija za odbranu doktorske disertacije:

MENTORI:

1. dr Snežana Jarić, naučni savetnik, Univerzitet u Beogradu,
Institut za biološka istraživanja „Siniša Stanković“,
Institut od nacionalnog značaja za Republiku Srbiju

2. dr Ksenija Jakovljević, viši naučni saradnik,
Univerzitet u Beogradu, Biološki fakultet

ČLANOVI KOMISIJE:

1. dr Jasmina Šinžar-Sekulić, vanredni profesor,
Univerzitet u Beogradu, Biološki fakultet

2. dr Dragana Đorđević, naučni savetnik, Univerzitet u
Beogradu, Institut za hemiju, tehnologiju i metalurgiju,
Institut od nacionalnog značaja za Republiku Srbiju

3. dr Miroslava Mitrović, naučni savetnik, Univerzitet u
Beogradu, Institut za biološka istraživanja
„Siniša Stanković“, Institut od nacionalnog značaja
za Republiku Srbiju

Datum odbrane: _____

Zahvalnica

Eksperimentalni deo doktorske disertacije je urađen u Odeljenju za ekologiju Instituta za biološka istraživanja „Siniša Stanković” - Institut od nacionalnog značaja za Republiku Srbiju, Univerzitet u Beogradu. Istraživanja su sprovedena u okviru nacionalnog projekta osnovnih istraživanja „Ekofiziološke adaptivne strategije biljaka u uslovima multipnog stresa“ (ON 173018; 2011-2019; rukovodilac dr Pavle Pavlović, Institut za biološka istraživanja „Siniša Stanković“ - Institut od nacionalnog značaja za Republiku Srbiju, Univerzitet u Beogradu) koji je finansiran od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije, i međunarodnog projekta „Managing the effects of multiple stressors on aquatic ecosystems under water scarcity“ GLOBAQUA (FP7-ENV.2013.6.2-1; 2014-2019; rukovodilac dr Damià Barceló) koji je finansiran od strane European Commission-EC, FP7 Collaborative Project.

Veliku zahvalnost dugujem svom mentoru dr Snežani Jarić, naučnom savetniku Instituta za biološka istraživanja „Siniša Stanković“ – Institut od nacionalnog značaja za Republiku Srbiju Univerziteta u Beogradu, na pruženom znanju, iskustvu, na dragocenim savetima, pomoći, ali i bezrezervnoj podršci i strpljenju tokom izrade ove doktorske disertacije, kao i tokom celokupne naše saradnje.

Takođe bih želela da se zahvalim mentoru dr Kseniji Jakovljević, višem naučnom saradniku Biološkog fakulteta, Univerziteta u Beogradu, na pruženoj pomoći, korisnim primedbama, savetima i sugestijama, ali i na ohrabrenju i podršci tokom savladavanja svih prepreka tokom izrade ove doktorske disertacije.

Zahvaljujem se dr Jasmini Šinžar Sekulić, vanrednom profesoru Biološkog fakulteta Univerziteta u Beogradu, i dr Dragani Đorđević naučnom savetniku Instituta za hemiju, tehnologiju i metalurgiju Univerziteta u Beogradu, koje su u završnoj fazi pisanja dale korisne stručne savete i sugestije, i time poboljšale kvalitet ove disertacije.

Veliku zahvalnost dugujem dr Miroslavi Mitrović, naučnom savetniku Instituta za biološka istraživanja „Siniša Stanković“ – Institut od nacionalnog značaja za Republiku Srbiju Univerziteta u Beogradu, na pruženoj pomoći, savetima, strpljenju i razumevanju koje je imala sve vreme tokom izrade ove doktorske disertacije i publikovanja naučnih radova sa rezultatima iz disertacije.

Posebnu zahvalnost dugujem dr Pavlu Pavloviću, naučnom savetniku Instituta za biološka istraživanja „Siniša Stanković“ – Institut od nacionalnog značaja za Republiku Srbiju Univerziteta u Beogradu, koji je kao rukovodilac Odeljenja za ekologiju i rukovodilac projekta omogućio uspešnu realizaciju istraživanja vezanih za ovu disertaciju i svojim velikim iskustvom i znanjem omogućio da ova disertacija dobije svoj konačni oblik.

Zahvaljujem se dr Olgi Kostić višem naučnom saradniku, dr Mariji Matić i dr Dragani Pavlović naučnim saradnicama Instituta za biološka istraživanja „Siniša Stanković“ – Institut od nacionalnog značaja za Republiku Srbiju Univerziteta u Beogradu, na pruženoj pomoći tokom terenskog rada i rada u laboratoriji. Iskrenu zahvalnost dugujem i svim kolegama i koleginicama sa Odeljenja za ekologiju koji su mi pružali podršku u svim fazama izrade ove doktorske disertacije.

Takođe bih želela da se zahvalim dr Vanji Markoviću, naučnom saradniku Biološkog fakulteta Univerziteta u Beogradu, na pruženoj pomoći tokom terenskih istraživanja. Zahvaljujem se i MSc Siniši Polovina, asistentu na Odesku za ekološki inženjering u zaštiti zemljišnih i vodnih resursa, Šumarskog fakulteta Univerziteta u Beogradu na pruženoj pomoći prilikom statističke obrade rezultata i rada u GIS softveru.

Zahvaljujem se od srca Milici Marković, kolegici, i pre svega prijatelju, bez nje sve ovo ne bi bilo izvodljivo. Hvala za svaki savet, svaku kritiku i pohvalu. Hvala na svakom zagrljaju, na velikom strpljenju, i na bezgraničnoj podršci.

Neizmernu zahvalnost dugujem svojoj porodici i prijateljima. Hvala vam na razumevanju, podršci i ljubavi koju mi pružate. Posebno hvala mom Vuku, i roditeljima, bez kojih sve ovo ne bi bilo moguće. Hvala vam što uvek verujete u mene. Ovu disertaciju posvećujem vama. Ovo je naš uspeh. Volim vas.

Sadržaj potencijalno toksičnih elemenata u odabranim drvenastim vrstama kao bioindikatorima zagađenja obalne zone reke Save

Sažetak

Istraživanja sprovedena u okviru ove doktorske disertacije bila su usmerena u pravcu ispitivanja akumulacije i translokacije potencijalno toksičnih hemijskih elemenata (Al, As, B, Cd, Cr, Cu, Fe, Li, Mn, Ni, Pb, Se, Sr i Zn) u odabranim vrstama drvenastih biljaka (*Salix alba* L., *Populus nigra* L., *Populus alba* L., *Ulmus glabra* Huds. i *Juglans regia* L.) u poplavnim šumama u obalnoj zoni reke Save. Istraživanja su obuhvatila analizu fizičko-hemijskih karakteristika zemljišta i definisanje najvažnijih faktora koji utiču na usvajanje potencijalno toksičnih elemenata od strane ispitivanih vrsta, kao i određivanje njihovog potencijala za akumulaciju, indicaciju i fitoremedijaciju ovih elemenata. Istraživanja su obavljena na teritoriji Republika: Slovenije, Hrvatske i Srbije, na lokalitetima izloženim različitim izvorima zagađenja (Mojstrana, Radovljica, Litija, Vrhovo, Čatež, Zagreb, Jasenovac, Slavonski Brod, Županja, Sremska Mitrovica, Šabac i Beograd).

Rezultati ukazuju na mogućnost korišćenja ispitivanih vrsta u svrhu bioindikacije, biomonitoringa i fitoremedijacije potencijalno toksičnih elemenata u zemljištima na analiziranim lokalitetima. Vrsta *S. alba* je dobar bioindikator prisustva svih analiziranih potencijalno toksičnih elemenata u zemljištu, izuzev Sr. Doobar bioindikator za prisustvo As, B, Fe, Li, Mn, Ni i Pb je *P. nigra*, dok je *P. alba* bioindikator prisustva B, Cd, Cr, Fe, Mn, Ni i Zn u zemljištu. Vrsta *U. glabra* se pokazala dobrom u bioindikaciji prisustva As, B, Cd, Cr, Mn, Ni i Zn, a vrsta *J. regia* u bioindikaciji sadržaja Al, B, Cd, Cr, Cu, Fe, Li, Mn, Ni, Pb i Zn u zemljištu. Istraživane vrste se ne mogu pouzdano koristiti u bioindikaciji Sr na ispitivanom području.

Ključne reči: reka Sava, potencijalno toksični elementi, riparijalna zona, *Salix alba*, *Populus nigra*, *Populus alba*, *Ulmus glabra*, *Juglans regia*, bioindikacija, fitoremedijacija

Naučna oblast: Biologija

Uža naučna oblast: Ekologija, biogeografija i zaštita životne sredine

UDK broj: [504.5:57.013]:[581.526.322 +282.242](497.11)(043.3)

The content of potentially toxic elements in selected woody species as bioindicators of pollution in the riparian zone of the River Sava

Abstract

The research conducted as part of this doctoral dissertation was aimed at examining the accumulation and translocation of potentially toxic chemical elements (Al, As, B, Cd, Cr, Cu, Fe, Li, Mn, Ni, Pb, Se, Sr and Zn) in selected woody plant species (*Salix alba* L., *Populus nigra* L., *Populus alba* L., *Ulmus glabra* Huds. and *Juglans regia* L.) in floodplain forests in the riparian zone of the River Sava. The physical and chemical characteristics of the soil were analysed, the most important factors influencing the uptake of potentially toxic elements by the examined species were defined, and the species' potential for the bioindication and phytoremediation of these elements was determined. The research was conducted in the riparian zone of the River Sava in Slovenia, Croatia, and Serbia, at sites exposed to various sources of pollution (Mojstrana, Radovljica, Litija, Vrhovo, Čatež, Zagreb, Jasenovac, Slavonski Brod, Županja, Sremska Mitrovica, Šabac and Belgrade).

The results indicate the examined species' potential for being used in the bioindication, biomonitoring and phytoremediation of potentially toxic elements. The species *S. alba* is a good bioindicator for the presence of all the analysed PTEs in the soil, except Sr. *P. nigra* is a good bioindicator for the presence of As, B, Fe, Li, Mn, Ni and Pb, while *P. alba* is a bioindicator for the presence of B, Cd, Cr, Fe, Mn, Ni and Zn in soil. The species *U. glabra* proved to be good for the bioindication of the presence of As, B, Cd, Cr, Mn, Ni and Zn, and the species *J. regia* for the bioindication of Al, B, Cd, Cr, Cu, Fe, Li, Mn, Ni, Pb and Zn content in the soil. However, the investigated species cannot be reliably used for the bioindication of Sr in the study area.

Key words: River Sava, potentially toxic elements, riparian zone, *Salix alba*, *Populus nigra*, *Populus alba*, *Ulmus glabra*, *Juglans regia*, bioindication, phytoremediation

Scientific area/field: Biology

Narrow scientific field: Ecology, Biogeography and Environmental protection

UDC number: 504.5:57.013]:[581.526.322 +282.242](497.11))(043.3)

SADRŽAJ

1. UVOD	1
1.1. OPŠTE KARAKTERISTIKE ISTRAŽIVANIH LOKALITETA U OBALNOJ ZONI REKE SAVE	4
1.1.1. Istraživani lokaliteti na teritoriji Republike Slovenije.....	6
1.1.2. Istraživani lokaliteti na teritoriji Republike Hrvatske.....	11
1.1.3. Istraživani lokaliteti na teritoriji Republike Srbije.....	15
1.2. OPŠTE KARAKTERISTIKE ISPITIVANIH VRSTA BILJAKA U OBALNOJ ZONI REKE SAVE	18
1.2.1. <i>Salix alba</i> L.	18
1.2.2. <i>Populus nigra</i> L.....	19
1.2.3. <i>Populus alba</i> L.	20
1.2.4. <i>Ulmus glabra</i> Huds.	21
1.2.5. <i>Juglans regia</i> L.....	22
2. CILJEVI ISTRAŽIVANJA	23
3. MATERIJAL I METODE	24
3.1. ANALIZA KVALITATIVNE I KVANTITATIVNE ZASTUPLJENOSTI BILJNIH VRSTA I EKOLOŠKIH USLOVA NA RIPARIJALNIM STANIŠTIMA ISTRAŽIVANIH LOKALITETA.....	24
3.2. UZORKOVANJE ZEMLJIŠTA I BILJNOG MATERIJALA U OBALNOJ ZONI REKE SAVE	25
3.3. ANALIZA FIZIČKIH I HEMIJSKIH KARAKTERISTIKA ZEMLJIŠTA	26
3.4. ANALIZA SADRŽAJA HEMIJSKIH ELEMENATA U ZEMLJIŠTU I BILJNOM MATERIJALU.....	27
3.5. STATISTIČKE ANALIZE.....	27
4. REZULTATI	29
4.1. KVALITATIVNA I KVANTITATIVNA ZASTUPLJENOST BILJNIH VRSTA I EKOLOŠKI USLOVI NA RIPARIJALNIM STANIŠTIMA ISTRAŽIVANIH LOKALITETA.....	29
4.2. OSNOVNE FIZIČKO-HEMIJSKE KARAKTERISTIKE ZEMLJIŠTA NA ISPITIVANIM LOKALITETIMA U OBALNOJ ZONI REKE SAVE	47
4.2.1. Fizičke karakteristike zemljišta	47
4.2.2. Hemijske karakteristike zemljišta.....	49
4.3. SADRŽAJ UKUPNIH I DTPA DOSTUPNIH FRAKCIJA HEMIJSKIH ELEMENATA U ZEMLJIŠTU	50
4.3.1. Ukupni sadržaj hemijskih elemenata u zemljištu	50
4.3.2. Sadržaj DTPA dostupnih frakcija hemijskih elemenata u zemljištu.....	56
4.3.3. Razlike u sadržaju hemijskih elemenata u zemljištu na ispitivanim lokalitetima	61
4.4. SADRŽAJ HEMIJSKIH ELEMENATA U KORENU I LISTOVIMA ISPITIVANIH VRSTA BILJAKA U OBALNOJ ZONI REKE SAVE	75
4.4.1. <i>Salix alba</i>	75
4.4.2. <i>Populus nigra</i>	88
4.4.3. <i>Populus alba</i>	101
4.4.4. <i>Ulmus glabra</i>	111
4.4.5. <i>Juglans regia</i>	124
4.5. POTENCIJAL ISPITIVANIH VRSTA BILJAKA ZA AKUMULACIJU HEMIJSKIH ELEMENATA U LISTOVIMA I KORENU	135
4.5.1. <i>Salix alba</i>	135
4.5.2. <i>Populus nigra</i>	138
4.5.3. <i>Populus alba</i>	141
4.5.4. <i>Ulmus glabra</i>	143
4.5.5. <i>Juglans regia</i>	146
4.6. SLIČNOSTI I RAZLIKE IZMEĐU PROUČAVANIH VRSTA BILJAKA U ODNOSU NA SADRŽAJ PTE U KORENU I LISTOVIMA I U NJHOVOJ POTENCIJALNOJ PRIMENI U BIOINDIKACIJI PTE U OBALNOJ ZONI REKE SAVE	149

5. DISKUSIJA	157
5.1. KVALITATIVNA I KVANTITATIVNA ZASTUPLJENOST BILJNIH VRSTA I EKOLOŠKI USLOVI NA STANIŠTIMA ISTRAŽIVANIH LOKALITETA U OBALNOJ ZONI REKE SAVE	157
5.2. OSNOVNE FIZIČKO-HEMIJSKE KARAKTERISTIKE ZEMLJIŠTA U OBALNOJ ZONI REKE SAVE	160
5.3. SADRŽAJ UKUPNIH I DTPA DOSTUPNIH FRAKCIJA, KVANTITATIVNI UDEO DOSTUPNIH FRAKCIJA POTENCIJALNO TOKSIČNIH ELEMENATA U ZEMLJIŠTU I PROCENA NIVOVA KONTAMINACIJE ZEMLJIŠTA.....	162
5.4. SADRŽAJ POTENCIJALNO TOKSIČNIH ELEMENATA (PTE) U ODABRANIM DRVENASTIM VRSTAMA I NJIHOV POTENCIJAL ZA AKUMULACIJU PTE U KORENU I LISTOVIMA KAO I POTENCIJAL ZA BIOINDIKACIJU I BIOMONITORING ZAGAĐENJA OBALNE ZONE REKE SAVE	172
5.4.1. <i>Salix alba</i>	173
5.4.2. <i>Populus nigra</i>	177
5.4.3. <i>Populus alba</i>	180
5.4.4. <i>Ulmus glabra</i>	183
5.4.5. <i>Juglans regia</i>	186
5.5. SLIČNOSTI I RAZLIKE IZMEĐU PROUČAVANIH VRSTA BILJAKA U ODNOSU NA SADRŽAJ PTE U KORENU I LISTOVIMA I U NJIHOVOJ POTENCIJALNOJ PRIMENI U BIOINDIKACIJI I FITOREMEDIJACIJI PTE U OBALNOJ ZONI REKE SAVE	189
6. ZAKLJUČCI	192
7. LITERATURA	196
PRILOZI.....	214

1. UVOD

Obalne (riparijalne) zone reka predstavljaju prelazne zone između kopnenih i vodenih ekosistema koje pružaju specifične uslove za život raznovrsnim životnim formama (Décamps et al. 2009) i svrstavaju se u biološki najproduktivnije ekosisteme na zemlji (Reddy & Delaune 2008). Staništa u obalnoj zoni reka naseljava veliki broj vodenih i kopnenih vrsta biljaka i životinja (Pennington et al. 2010), te su veoma važna i sa aspekta očuvanja biodiverziteta. Pored toga, pružaju veliki broj ekosistemskih usluga za čoveka, kao što su hrana, transport, rekreacija, turizam, proizvodnja električne energije (Naiman & Decamps 1997; Tockner & Stanford 2002; Pennington et al. 2010).

Ove zone su izuzetno dinamični sistemi, proporcionalni veličini i topografiji reka, i imaju ključnu ulogu u funkcionisanju vodenih ekosistema kroz uticaj na hemijske, fizičke i biološke procese u njima (Naiman & Decamps 1997). Zbog kompleksnosti i dinamičnosti, obalne zone velikih reka su veoma osetljive i podložne promenama usled antropogenih pritisaka (Coccosis 2004; Navaro-Ortega et al. 2015). Ekosistemi obalne zone reka su izloženi delovanju različitih stresora kao što su zagađivanje organskim i neorganskim polutantima, vodozahvati, hidroenergetski objekti, različiti vidovi degradacije zemljišta i vegetacije, invazivne vrste i dr. Sinergističko delovanje stresnih faktora može dovesti do narušavanja prirodnog toka kruženja nutrijenata, biološke kompeticije za resurse i zagađivanja, što može značajno uticati na biodiverzitet i opšte funkcionisanje obalnih ekosistema (Vinebrooke et al. 2004; Tockner et al. 2010; Ogrinc et al. 2015). Istovremeno ubrzana industrijalizacija, urbanizacija i poljoprivredne aktivnosti dovele su do degradacije priobalnih područja i značajnog gubitka priobalne vegetacije (Idrees et al. 2018). Zato je neophodno razumeti kako stresori međusobno interaguju u ekosistemima velikih regionalnih reka, kakve efekte imaju na ekosisteme i organizme u njima, kao i kako ta saznanja iskoristiti za bolje i efikasnije upravljanje vodenim sistemima.

Zagađivanje reka i njihovih obalnih zona je jedan od problema kome u novije vreme istraživači posvećuju sve veću pažnju. Značajan deo istraživanja usmeren je na ispitivanje štetnih efekata potencijalno toksičnih hemijskih elemenata (PTE), koji se nakon akumulacije dugo zadržavaju u rečnom sedimentu i riparijalnom zemljištu. Ukoliko su koncentracije PTE u riparijalnim ekosistemima iznad vrednosti propisanih standardima o kvalitetu životne sredine, oni postaju toksični za organizme koji ih naseljavaju (Tessier & Campbell 1987; Leuven et al. 2005; Wang et al. 2015; Bai et al. 2016; Frémion et al. 2016). Poslednjih decenija ispituju se efekti potencijalno toksičnih elemenata (PTE) u rečnom sedimentu i zemljištu u obalnim zonama reka, naročito grupe teških metala (Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb i Zn) i metaloida poput As, koji su označeni kao prioritete supstance u okvirnim direktivama Evropske komisije koje se odnose na vode (WFD Directive 2000).

U potencijalno toksične elemente se svrstavaju pre svega teški metali pri čemu su neki od njih esencijalni za rast i razvoj biljaka (Adriano 2001). Iako neophodni, i esencijalni elementi u visokim koncentracijama mogu postati toksični, dok su elementi kao što su As, Cd, Cr, Pb i Hg toksični za biljke čak i u niskim koncentracijama (Kabata-Pendias & Pendias 2001). Odgovor biljaka na povišene koncentracije potencijalno toksičnih elemenata, može biti različit i često je specifičan za vrstu. Dok značajan broj vrsta biljaka pokazuje različita strukturno-fiziološka oštećenja već pri niskim koncentracijama potencijalno toksičnih elemenata, neke vrste pokazuju određeni nivo tolerantnosti, i u zavisnosti od odnosa prema polutantima, svrstavaju se u akumulatore, stabilizatore ili indikatore polutanata (Ali et al. 2013). Dosadašnja istraživanja vegetacije u poplavnim zonama pokazuju da ona ima značajnu ulogu u smanjenju sadržaja toksičnih elemenata u zemljištu, s obzirom na činjenicu da biljke usvajaju različite hemijske elemente iz zemljišnog rastvora (Nissen & Lepp 1997; Baslar et al. 2005; Stobrawa & Lorenc-Plucińska 2007; Zhang et al. 2011; Zimmer et al. 2012; Pavlović et al. 2016; Swanson et al. 2017). Stoga, poznavanje efekata koje potencijalno toksični elementi imaju na biljke predstavlja važan faktor u odabiru vrsta za fitoremedijaciju i obnavljanje obalnih zona degradovanih i zagađenih antropogenim aktivnostima (Macklin & Lewin 1989; Macklin & Smith 1990; Zhang et al. 2011;

Pavlović et al. 2016). Takođe, poznavanje fitotoksičnih efekata različitih hemijskih elemenata jedan je od najvažnijih faktora u monitoringu životne sredine.

Akumulacija PTE u biljkama ukazuje na njihovu dostupnost i mobilnost u zemljištu sa jedne, i specifične funkcionalne karakteristike na nivou vrste sa druge strane. Naime, fizičke i hemijske karakteristike zemljišta utiču na dostupnost i mobilnost elemenata koji mogu biti lako dostupni biljkama za usvajanje, ali mogu biti i imobilisani u zemljišnom kompleksu. Istraživanja pokazuju da neke vrste biljaka mogu da akumuliraju PTE u niskim ili u visokim koncentracijama u odnosu na njihov sadržaj u zemljišnom rastvoru (Baker et al. 2000; Ma et al. 2001). Biljke usvajaju hemijske elemente iz zemljišta putem korena i transportuju ih u nadzemne delove, tako da je važan segment u bioindikaciji zagađivanja zemljišta upravo merenje i analiza njihovog sadržaja u korenu i listovima (Wolterbeek 2002; Markert et al. 2003; Madejón et al. 2004). Toksičnost pojedinih elemenata za biljke ne zavisi samo od vrste već i od tipa elementa (metal/metaloid), kao i od njihove koncentracije i dostupnosti u zemljištu, pH reakcije zemljišta, kapaciteta izmene katjona, redoks potencijala, granulometrijskog sastava zemljišta, količine organske materije u zemljištu i dr. Generalno, sa povećanjem pH vrednosti i sadržaja gline i/ili organske materije u zemljištu, dostupnost elemenata se smanjuje (Alloway 1995; Adriano 2001; Kabata-Pendias 2011).

Povišene koncentracije potencijalno toksičnih elemenata u obalnim zonama velikih reka mogu biti različitog porekla. Jedan deo je prirodnog (litogenog) porekla, dok je najveći deo antropogenog porekla, i rezultat je različitih antropogenih aktivnosti (otpadne industrijske i komunalne vode, sagorevanje fosilnih goriva u termoelektranama, saobraćaj, industrija, poljoprivreda uključujući korišćenje mineralnih đubriva, odlaganje industrijskog i komunalnog otpada i slično) (Nagajyoti et al. 2010). Potencijalno toksični elementi antropogenog porekla su često mobilniji, odnosno biodostupniji u odnosu na elemente prirodnog porekla (Kuo et al. 1983; Kaasalainen & Yli-Halla 2003). Nakon emisije iz različitih izvora, ovi elementi dospevaju u zemljište gde je njihovo ponašanje uslovljeno fizičko-hemijskim karakteristikama zemljišta, pri čemu ukupan sadržaj hemijskih elemenata i njihove dostupne forme u zemljištu nisu konstantni. Sa jedne strane, sadržaj se smanjuje usled ispiranja, erozije i usvajanja od strane biljaka, dok se sa druge strane njihova koncentracija može povećati usled daljeg zagađivanja (Nagajyoti et al. 2010). Zbog činjenice da poplavne zone pokazuju prostornu i sezonsku heterogenost, one su u isto vreme akumulatori, ali i izvori polutanata (Collins et al. 2009). Potencijalno toksični elementi antropogenog porekla se obično deponuju u površinskim slojevima zemljišta (0-10 cm) odakle ih biljke usvajaju, pa su tako vegetacija i zemljište kao kompleksne i dinamične komponente vodenih ekosistema izvanredan medijum za monitoring zagađivanja PTE (Domínguez et al. 2016; Pavlović et al. 2016).

Da bi se utvrdilo prisustvo i pratio nivo zagađenja potencijalno toksičnim elementima, u bioindikaciji i biomonitoringu se koristi veliki broj različitih vrsta viših biljaka (Piczak et al. 2003; Wuytack et al. 2010). Drvenaste biljke se često koriste u biomonitoringu zbog njihove široke rasprostranjenosti, dugog životnog veka, jednostavnog načina uzorkovanja i identifikacije, kao i potencijalno velike biomase za akumulaciju PTE, odnosno velike količine dostupnog biološkog materijala za analize (Berlizov et al. 2007; Sawidis et al. 2011).

Sposobnost nekih biljaka da tolerišu i akumuliraju određene vrste PTE bez značajnih simptoma oštećenja, može se praktično iskoristiti u kontroli zagađenja i obnavljanju obalnih ekosistema izloženih degradaciji. Upotreba autohtonih vrsta biljaka za fitoremedijaciju je važna imajući u vidu da su one već prilagođene na ekološke uslove staništa u poređenju sa alohtonim vrstama (Pavlović et al. 2004; Yoon et al. 2006; Antonijević et al. 2012; Gajić et al. 2016). Zbog toga postoji stalni interes za pronalaženje autohtonih vrsta koje su tolerantne na povećane nivoe PTE. U tom smislu, za evaluaciju i selekciju potencijala biljaka za fitoremedijaciju, često se analiziraju vrednosti njihovih akumulacionih faktora, poput biokoncentracionog (BCF) i translokacionog (TF) faktora. Sposobnost biljaka da akumuliraju potencijalno toksične elemente, naročito teške metale se definiše kroz odnos sadržaja elementa u korenu u odnosu na isti u zemljištu (BCF), dok se sposobnost biljaka da transportuju elemente iz korena u nadzemne delove (listove i izdanke) definiše kroz odnos sadržaja u listovima u odnosu na koren (TF). Jedna od tehnika

fitoremedijacije zemljišta kontaminiranog toksičnim elementima počiva na korišćenju kapaciteta biljaka za fitoekstrakciju, odnosno usvajanje i akumulaciju elemenata u nadzemnim delovima u visokim koncentracijama. Takođe, veoma često se koristi i fitoremedijaciona tehnika zasnovana na potencijalu biljaka za fitostabilizaciju, odnosno za smanjivanje mobilnosti i zadržavanje elementa u korenu, i u kontaminiranim zemljištima. Vrste sa vrednostima BCF i TF većim od 1 imaju potencijal za korišćenje u fitoekstrakciji PTE (Yoon et al. 2006).

1.1. Opšte karakteristike istraživanih lokaliteta u obalnoj zoni reke Save

Reka Sava je najveći rečni sliv jugoistočne Evrope i jedan od najznačajnijih podsliivova reke Dunav. Sa površinom od 97713 km² i dužinom od 945 km, zauzima 12% od ukupnog basena reke Dunav i tako predstavlja značajan deo slivova Evrope (ISRBC 2009). To je ujedno jedna od najvećih regionalnih reka jer protiče kroz četiri Republike: Sloveniju, Hrvatsku, Bosnu i Hercegovinu i Srbiju.

Sliv reke Save se odlikuje kompleksnim geološkim sastavom sa magmatskim (granit, dijabaz, dacit, andezit i peridotit), metamorfnim (šist, gnajs, mermer i kvarcit) i sedimentnim stenama, među kojima je krečnjak dominantna geološka podloga (Simić et al. 2015; ISRBC 2016; Schwarz 2016). Zemljišta u gornjem delu reke su nerazvijena skeletna, dok su nizvodno praćena slabo razvijenim fluvisolom. Tipovi zemljišta u donjem delu rečnog toka su glej, semiglej i aluvijalna zemljišta (Schwarz 2016; Pavlović et al. 2017a). Šume i poluprirodna područja pokrivaju 54,7% teritorije sliva, na 42,4% površine sliva se obavljaju poljoprivredne aktivnosti, dok 2,2% od ukupne površine sliva zauzimaju veštačke površine (putevi, zgrade i slično) (ISRBC 2009).

Klima u slivu reke Save je pretežno umereno kontinentalna, izuzev na većim nadmorskim visinama gde preovladava alpska (planinska) klima. Prosečna vrednost godišnje količine padavina i temperatura vazduha razlikuju se duž toka reke. Srednja godišnja temperatura vazduha u gornjem delu toka reke je 6°C, dok u donjem delu toka, u zoni ušća u Dunav, dostiže 13°C. Godišnje količine padavina variraju od 660 mm na ušću reke Save, do 2000 do 3000 mm u alpskom regionu. Maksimalni protok vode se obično beleži u proleće, a sledeći veći protok se beleži u jesen, što je u skladu sa obrascima padavina i topljenjem snega (Ogrinc et al. 2015).

Duž reke Save se javlja veliki broj vegetacijskih zajednica. U alpskom delu gde su prisutne jake vodene struje kao i velike oscilacije rečnog toka, vodene zajednice su slabo razvijene, a reke Savu Bohinjku i Savu Dolinku karakteriše gotovo potpuno odsustvo makrofita. Ipak, biljne zajednice u obalnoj zoni reke Save su veoma raznovrsne. Na kamenitim i peskovitim podlogama u obalnom delu alpskog regiona javljaju se sveze *Adenostylin alliariae* Br.-Bl. 1926, *Alnion viridis* Aichinger 1933, kao i *Epilobion fleischeri* G. Br.-Bl. and J. Br.-Bl. 1931. Žbunasta vegetacija u ovom regionu je izložena velikim poplavama i jakim sušama, i pripada svezama *Salicion incanae* Aich., 1933 i *Salicion eleagno-daphnoidis* (Moor 1958) Grass 1993 iz klase *Salicetea purpureae* Moor 1958. Pored navedenog, u alpskom regionu se javlja i veliki broj hazmofitskih vrsta, kao i vrsta koje čine vegetaciju sipara (Karadžić et al. 2015).

U planinskom delu reke Save dolazi do usporavanja rečnog toka, čime se stvara mogućnost za razvoj vodene vegetacije (sveze: *Ranunculion fluitantis* Neuhäusl 1959 i *Potamion polygonifolii* Hartog and Segal 1964; klasa *Potametea* Klika in Klika and Novák 1941) u kojoj dominiraju vrste rodova *Ranunculus*, *Myriophyllum* i *Potamogeton* (Karadžić et al. 2015). U obalnom delu planinskog dela reke razvijene su zajednice iz klasa *Mulgedio-Aconitetea* Hadač and Klika and Klika and Hadač 1944 i *Phragmitetea* Tüxen and Preising 1942. Šumska vegetacija ovog regiona pripada svezama *Salicion eleagno-daphnoidis* (Moor 1958) Grass 1993 i *Salicion albae* Soó 1930 (Karadžić et al. 2015). Zajednice iz sveze *Salicion eleagno-daphnoidis* (Moor 1958) Grass 1993 se razvijaju na nestabilnim, bujičnim staništima, na šljunkovitoj i peskovitoj obali reke Save, sa dominantnim vrstama *Salix eleagnos* Scop., *Salix triandra* L., *Salix purpurea* L., *Salix fragilis* L. i *Salix viminalis* L. Sa druge strane, zajednice iz sveze *Salicion albae* Soó 1930 se razvijaju na finom pesku, iznad nivoa vode, ali su takođe često plavljene. Dominantne vrste ove sveze su *Salix alba* L., *Salix purpurea* L. i *Salix triandra* L. (Karadžić et al. 2015).

Panonski deo toka karakteriše prisustvo mezo-eutrofne vodene i slobodno plutajuće vegetacije predstavljene svezama *Ranunculion fluitantis* Neuhäusl 1959, *Potamion pectinati* (W. Koch 1926) Libbert 1931, *Ceratophyllion* Den Hartog and Segal 1964, *Lemnion minoris* O. Bolòs and Masclans 1955, *Lemnion trisulcae* Hartog and Segal 1964 i *Hydrocharition morsus-ranae* Rübél ex Klika in Klika and Hadač 1944 (Karadžić et al. 2015). Vegetacija obalnog dela panonske

regije predstavljena je svezama *Bidention tripartitae* Nordhagen 1940 em. Tüxen in Poli and J. Tüxen, *Chenopodion rubri* (Tüxen ex Poli and J. Tüxen 1960) Kopecký, *Glycerio-Sparganion* Br.-Bl. and Sissingh in de Boer 1942, i *Salicion albae* Soó 1930 (Karadžić et al. 2015).

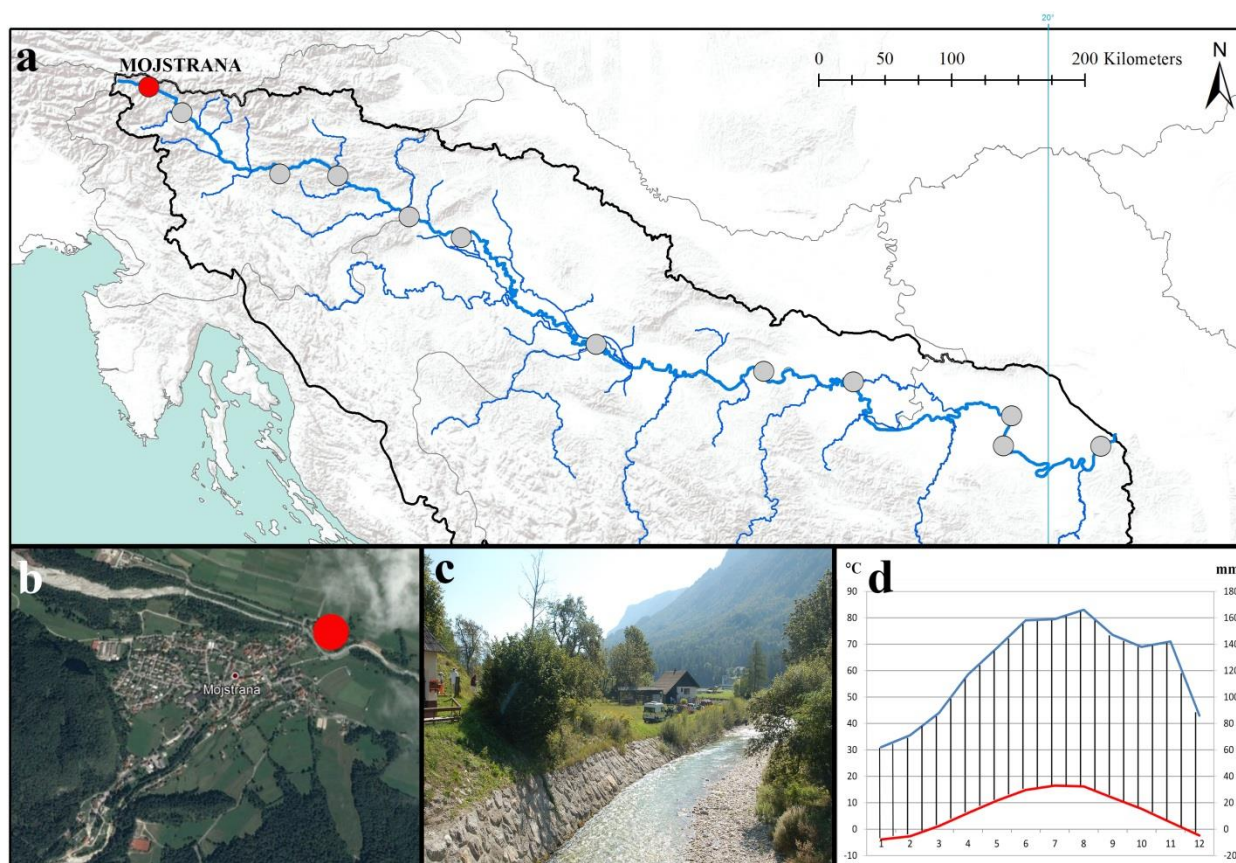
Generalno, hidrološki uslovi (poplave i različit nivo podzemnih voda), topografija terena, kao i fizička svojstva zemljišta (maksimalni vodni kapacitet, prozračnost i vodopropustljivost) imaju veliki uticaj na florističku diferencijaciju priobalne šumske vegetacije, naročito šuma vrbe (*Salix* sp.) i topole (*Populus* sp.) u obalnoj zoni reke Save (Karadžić et al. 2015). Vrste *Salix alba*, *Populus nigra* i *P. alba* predstavljaju značajne cenobionte zajednica *Salicetum albae* Issler 1926, *Populeto-Salicetum* Rajevski 1950 i *Populetum nigrae-albae* Slavnić 1952., koje su razvijene u poplavnoj zoni duž čitavog toka reke Save. Sve tri vrste su brzorastuće, lako se razmnožavaju i tolerantne su na različite tipove zemljišta (Kuzovkina et al. 2004). Pored njih, značajnu brojnost imaju još i brdski brest (*Ulmus glabra* Huds.) i orah (*Juglans regia* L.). Ove drvenaste vrste se karakterišu specifičnim fiziološkim adaptacijama i ekološkom otpornošću, zbog čega su pogodne za upotrebu u zaštiti riparijalnih staništa u različitim klimatskim zonama. U novije vreme, povećava se upotreba vrsta roda *Salix* za stabilizaciju i melioraciju degradiranih predela kao i fitoremedijaciju, odnosno kontrolu zagađenja riparijalnih zona (Vervaeke et al. 2003; Vandecasteele et al. 2005; Bedell et al. 2009). Dosadašnja istraživanja su pokazala da značajan broj vrsta iz rodova *Salix* i *Populus* poseduje visok potencijal za akumulaciju teških metala, zbog čega se upotrebljavaju za fitoremedijaciju kontaminiranih zemljišta (Mertens et al. 2004; Laureysens et al. 2005; Wu et al. 2010; Gaudet et al. 2011; Bhargava et al. 2012; Chen et al. 2014; Pavlović et al. 2016). Takođe, utvrđen je određeni kapacitet za akumulaciju PTE kod brdskog bresta (*Ulmus glabra*) i oraha (*Juglans regia*) (Baslar et al. 2009; Arpadjan et al. 2013; Tošić et al. 2014; Feizi & Jalali 2015).

Ekosistemi u riparijalnoj zoni reke Save su degradirani i značajno modifikovani usled uticaja antropogenog faktora, naselja i industrijskih objekata, širenja poljoprivrednih površina i razvoja složenog sistema odbrane od poplava koji štiti plodno poljoprivredno zemljište (ISRBC 2009). Prisustvo PTE u gornjem toku reke je rezultat raspadanja karbonatnih matičnih stena, u srednjem delu toka glavni izvori ovih elemenata su poljoprivredne aktivnosti i biološki procesi vezani za eutrofikaciju, dok u donjem toku reke Save povišen sadržaj PTE u značajnoj meri potiče od zagađenja usled industrijskih aktivnosti, kao i netretiranih industrijskih i komunalnih otpadnih voda (Markovics et al. 2010; Ščančar et al. 2015). Reka Sava je označena kao umereno zagađena evropska reka u pogledu zagađenja vode i sedimenta potencijalno toksičnim elementima (Milačić et al. 2010, 2017; Vidmar et al. 2017; Marković et al. 2018).

1.1.1. Istraživani lokaliteti na teritoriji Republike Slovenije

Lokalitet **Mojstrana (MOJ)** se nalazi na desnoj obali reke Save, na mestu gde se spajaju Triglavsko Bistrica i Sava Dolinka, na nadmorskoj visini od 661 m. Od ušća reke Save u Dunav ovaj lokalitet je udaljen 930 rečnih kilometara (Slika 1). U Mojstrani živi oko 1200 stanovnika i turistički je veoma posećena, jer je locirana na ulazu u nacionalni park Triglav. U periodu od osnivanja naselja, pa do završetka Drugog svetskog rata, stanovništvo se bavilo rudarenjem i preradom ruda gvožđa, kao i proizvodnjom cementa. Danas nema aktivnih industrijskih pogona (ISRBC 2009).

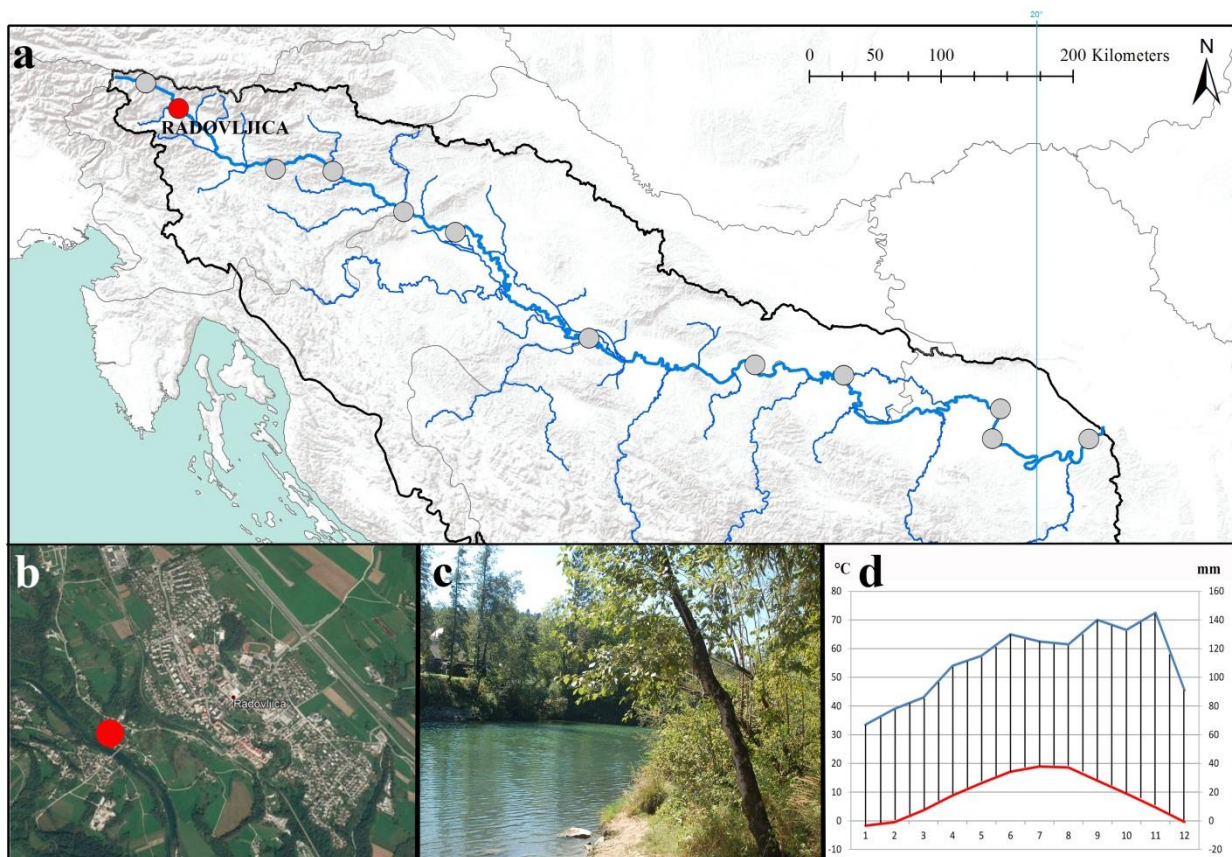
S obzirom na geografski položaj, u Mojstrani vlada planinski tip klime. Srednja godišnja temperatura iznosi $7,9^{\circ}\text{C}$, sa prosečnim temperaturama ispod 0°C u decembru, januaru i februaru. Najhladniji mesec je januar sa prosečnom temperaturom od $-2,7^{\circ}\text{C}$, a najtopliji mesec je jul sa prosečnom temperaturom od $17,7^{\circ}\text{C}$. Prosečna godišnja količina padavina za period od 1982. do 2012. godine iznosi 1257 mm. U periodu od aprila do novembra mesečno se javlja preko 100 mm padavina (<https://en.climate-data.org>) (Slika 1d).



Slika 1. Mojstrana; a) položaj lokaliteta na reci Savi; b) mesto uzorkovanja; c) izgled terena; d) klimadijagram lokaliteta

Radovljica (RAD) je grad sa oko 6000 stanovnika i nalazi se u alpskom regionu Slovenije, na 409 m.n.v. Lociran je na levoj obali reke Save, na mestu spajanja Save Bohinjke i Save Dolinke, a od ušća Save u Dunav je udaljen 908 rečnih kilometara (Slika 2). Uzvodno od Radovljice, locirane su metalurška i industrija za preradu drveta koje predstavljaju glavne antropogene izvore zagađenja na ovom lokalitetu (ISRBC 2009).

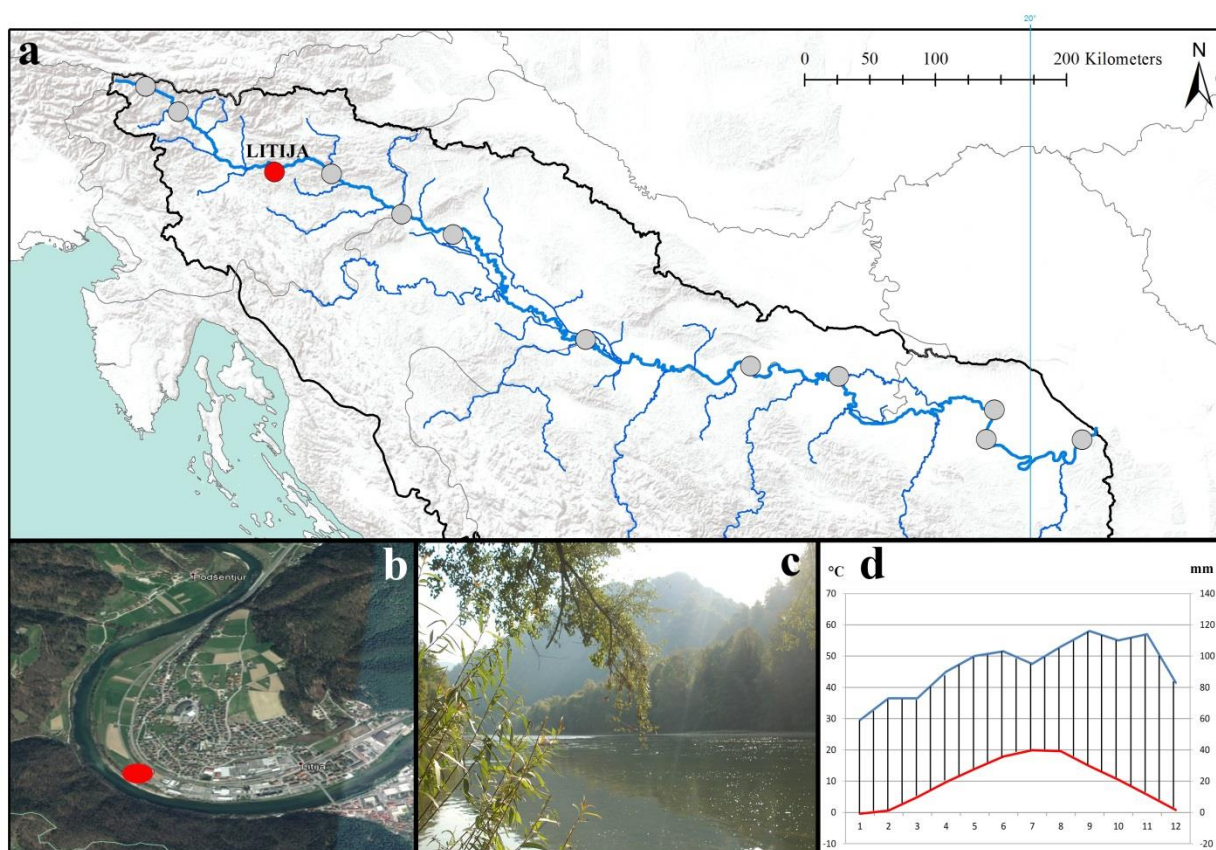
Planinski tip klime je dominantan u Radovljici. Srednja godišnja temperatura iznosi 8,8°C, sa prosečnim temperaturama ispod 0°C u decembru, januaru i februaru. Najhladniji mesec je januar sa prosečnom temperaturom od -1,9°C, a najtopliji jul sa prosečnom temperaturom od 18,8°C. Prosečna godišnja količina padavina u Radovljici, za period od 1982. do 2012. godine, iznosi 1177 mm, a od maja do novembra se mesečno javlja preko 100 mm padavina (<https://en.climate-data.org>) (Slika 2d).



Slika 2. Radovljica; a) položaj lokaliteta na reci Savi; b) mesto uzorkovanja; c) izgled terena; d) klimadijagram lokaliteta

Litija (LIT) je grad u centralnoj Sloveniji, sa oko 6500 stanovnika. Smešten je na obe strane reke Save, na nadmorskoj visini od 225 m, a od ušća Save u Dunav je udaljen 810 rečnih kilometra (Slika 3). Glavni izvori antropogenog zagađenja su poljoprivredne aktivnosti, kao i napuštena rudarska oblast severno od grada. U rudnicima su eksploatisane rude cinka, bakra, gvožđa, olova i žive. Rudarenje je napušteno 1965. godine, a rudnici su danas turistička atrakcija ovog regiona (ISRBC 2009).

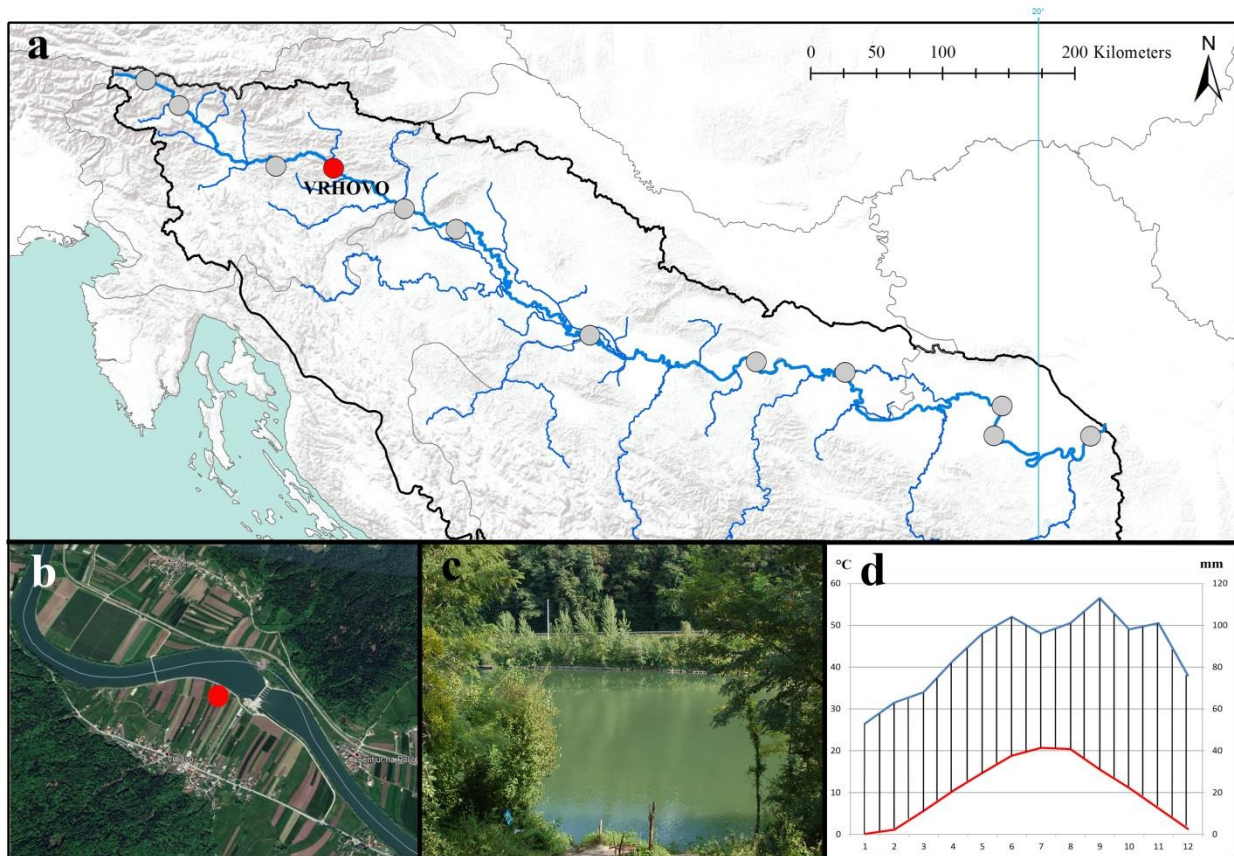
Litija se nalazi u zoni kontinentalne klime sa srednjom godišnjom temperaturom od 10,2°C. Najhladniji mesec je januar sa prosečnom temperaturom od -0,3°C, a najtopliji je jul sa prosečnom temperaturom od 20,3°C. Prosečna godišnja količina padavina u Litiji iznosi 1210 mm za period od 1982. do 2012. godine, a mesečna suma padavina iznad 100 mm se beleži u periodu od maja do decembra (<https://en.climate-data.org>) (Slika 3d).



Slika 3. Litija; a) položaj lokaliteta na reci Savi; b) mesto uzorkovanja; c) izgled terena; d) klimadijagram lokaliteta

Vrhovo (VRH) je selo sa oko 300 stanovnika, smešteno na nadmorskoj visini od 194 m. Nalazi se na desnoj obali reke Save, udaljeno 776 rečnih kilometara od njenog ušća u Dunav (Slika 4). U Vrhovu je izgrađena hidroelektrana 1993. godine, čime je narušen uzvodni deo toka reke. Danas ova hidroelektrana predstavlja najveći antropogeni izvor zagađenja Savskog vodotoka u ovom regionu (ISRBC 2009).

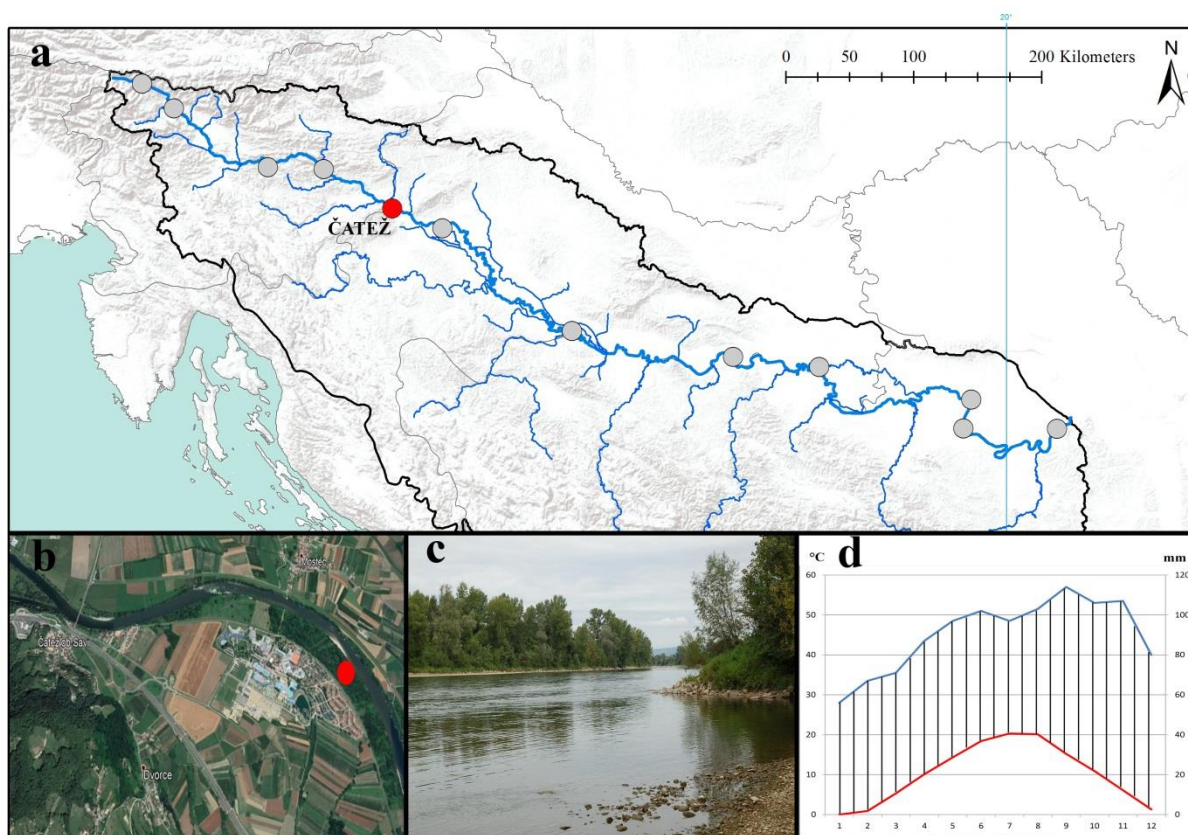
Vrhovo se takođe nalazi u pojasu kontinentalne klime. Prosečna godišnja temperatura u ovom mestu iznosi 10,7°C, a prosečna godišnja količina padavina za period od 1982. do 2012. godine iznosi 1114 mm. Najhladniji mesec je januar sa prosečnom temperaturom od 0,1°C, dok je najtopliji mesec jul sa prosekom od 20,9°C. U periodu od maja do novembra u proseku se beleži iznad 100 mm padavina (<https://en.climate-data.org>) (Slika 4d).



Slika 4. Vrhovo; a) položaj lokaliteta na reci Savi; b) mesto uzorkovanja; c) izgled terena; d) klimadijagram lokaliteta

Čatež (ČAT) je selo sa oko 320 stanovnika, koje je istovremeno jedan od najvažnijih turističkih centara u Sloveniji. Nalazi se na desnoj obali reke Save, na ušću reke Krke, u blizini granice sa Hrvatskom. Nadmorska visina ovog mesta je 137 m. Čatež je udaljen 736 rečnih kilometara od ušća Save u Dunav (Slika 5). Veliki antropogeni pritisak na ovom lokalitetu, posledica je urbanih aktivnosti, ali i proizvodnje voćarskih i vinogradarskih kultura, s obzirom da se Čatež nalazi u vinskom reginu Posavje. Osim toga, uzvodno od ovog lokaliteta, a u blizini reke Save, locirane su i drvoprerađivačka industrija i proizvodnja papira, metaloprerađivačka industrija, kao i nuklearna elektrana Krško (ISRBC 2009).

U Čatežu prevladava kontinentalni tip klime. Prosečna godišnja temperatura iznosi $9,4^{\circ}\text{C}$, a srednja minimalna mesečna temperatura se javlja u januaru ($-1,0^{\circ}\text{C}$), koji je ujedno i najhladniji mesec u godini. Najtopliji mesec u godini je jul, sa prosečnom temperaturom od $19,4^{\circ}\text{C}$. Prosečna godišnja količina padavina u Čatežu iznosi 1240 mm za period od 1982. do 2012. godine, a u periodu od maja do novembra, u proseku se beleži iznad 100 mm padavina mesečno (<https://en.climate-data.org>) (Slika 5d).

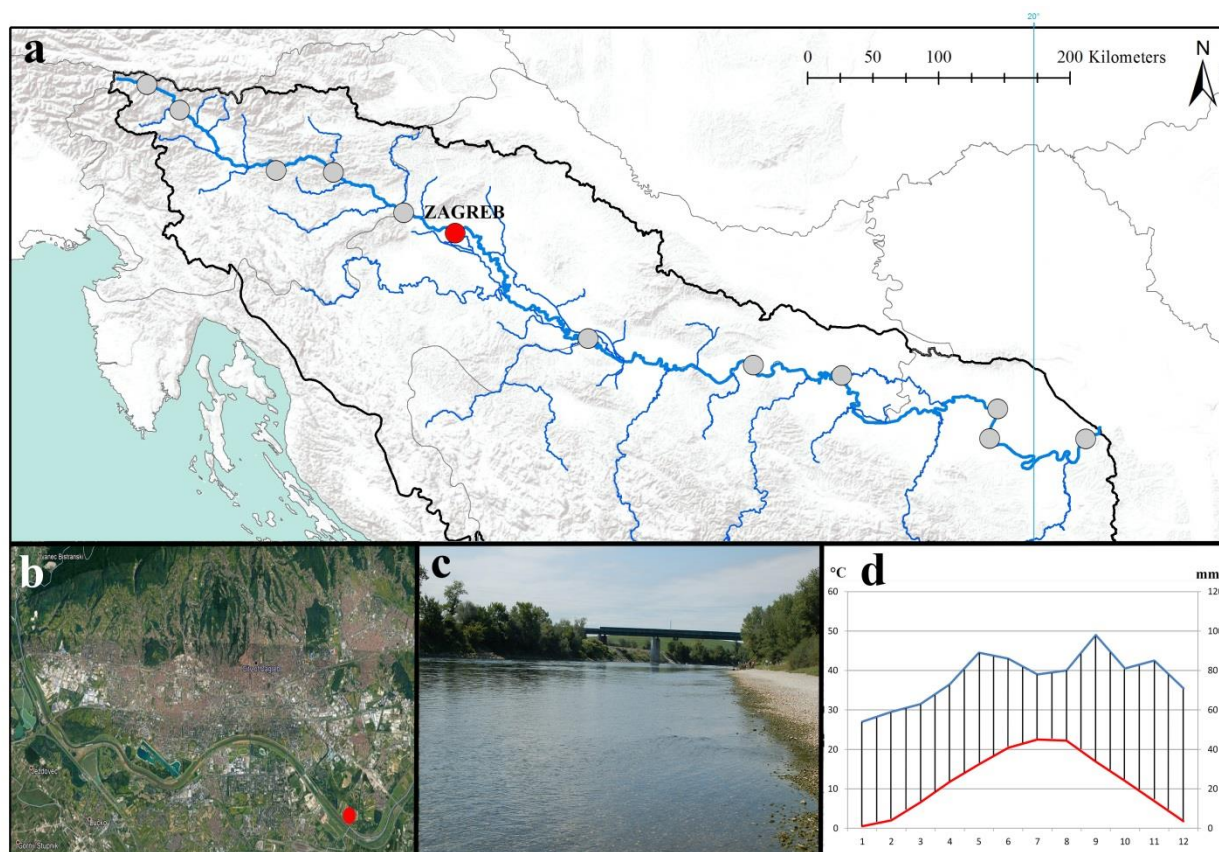


Slika 5. Čatež; a) položaj lokaliteta na reci Savi; b) mesto uzorkovanja; c) izgled terena; d) klimadijagram lokaliteta

1.1.2. Istraživani lokaliteti na teritoriji Republike Hrvatske

Zagreb (ZAG) je prestonica Republike Hrvatske. Više od 800000 stanovnika živi u ovom gradu na levoj obali Save, a zajedno sa prigradskim naseljima ovaj broj prelazi 1000000. Grad se nalazi na 112 m.n.v, a udaljenost od ušća Save u Dunav iznosi 664 rečnih kilometara (Slika 6). Industrijske i urbane aktivnosti čine glavni antropogeni izvor zagađenja u ovom delu reke Save. Najvažnije grane industrije su proizvodnja električnih uređaja, hemijska i farmaceutska industrija, tekstilna industrija, pogoni za preradu hrane (ISRBC 2009).

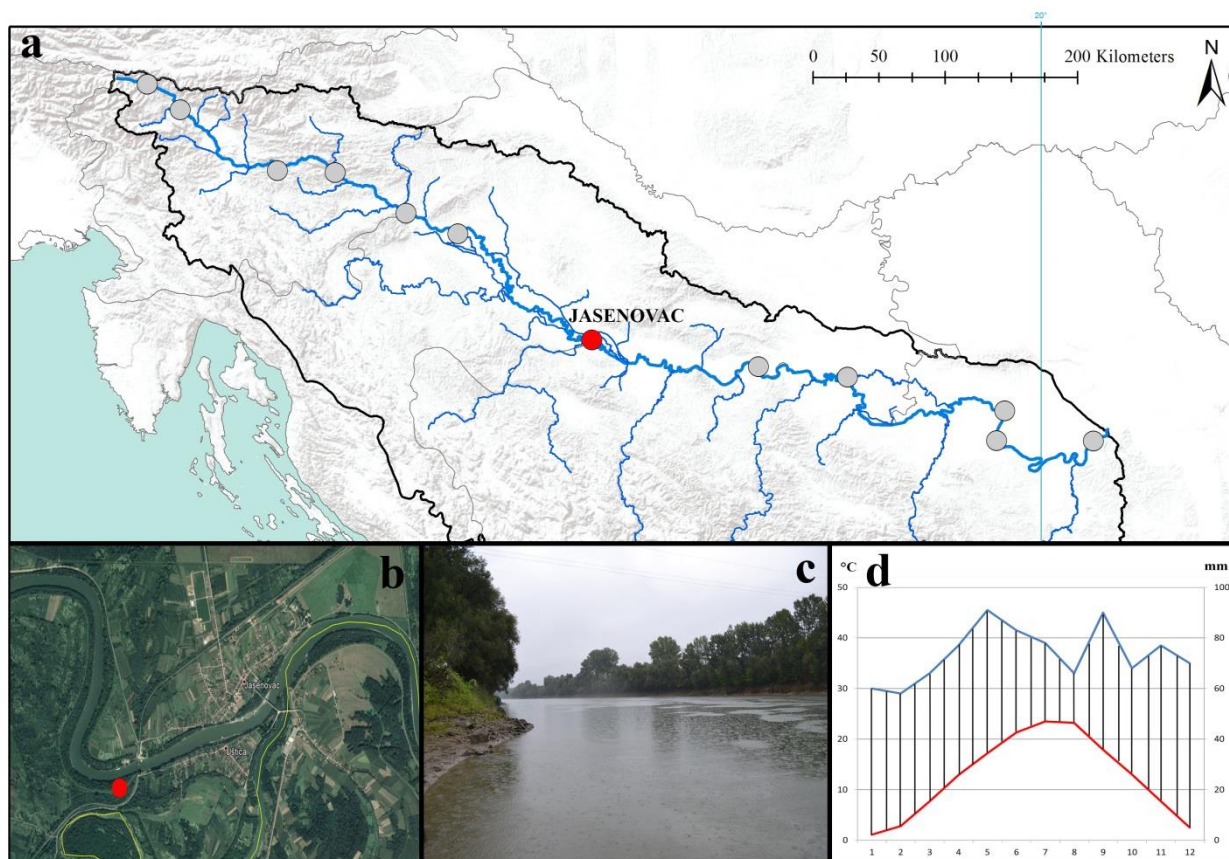
U Zagrebu vlada umereno kontinentalni tip klime sa srednjom godišnjom temperaturom od 11°C. Najhladniji mesec je januar sa prosečnom temperaturom od -0,1°C, a to je ujedno i jedini mesec sa srednjom mesečnom temperaturom ispod 0°C. Najtopliji mesec je jul sa 21,4°C. Srednja godišnja količina padavina u Zagrebu, za period od 1982. do 2012. godine iznosi 930 mm, a više od 100 mm padavina mesečno se beleži samo u junu mesecu (<https://en.climate-data.org>) (Slika 6d).



Slika 6. Zagreb; a) položaj lokaliteta na reci Savi; b) mesto uzorkovanja; c) izgled terena; d) klimadijagram lokaliteta

Jasenovac (JAS) je selo sa oko 2400 stanovnika. Nalazi se na levoj obali Save, na nadmorskoj visini od 90 m, u okviru parka prirode Lonjsko polje. Lonjsko polje je Ramsarsko područje od 1993. godine. Jasenovac je udaljen 489 rečnih kilometara od ušća Save u Dunav (Slika 7). U ovom delu reke Save, rečni saobraćaj i poljoprivredne aktivnosti predstavljaju glavni izvor antropogenog zagađenja.

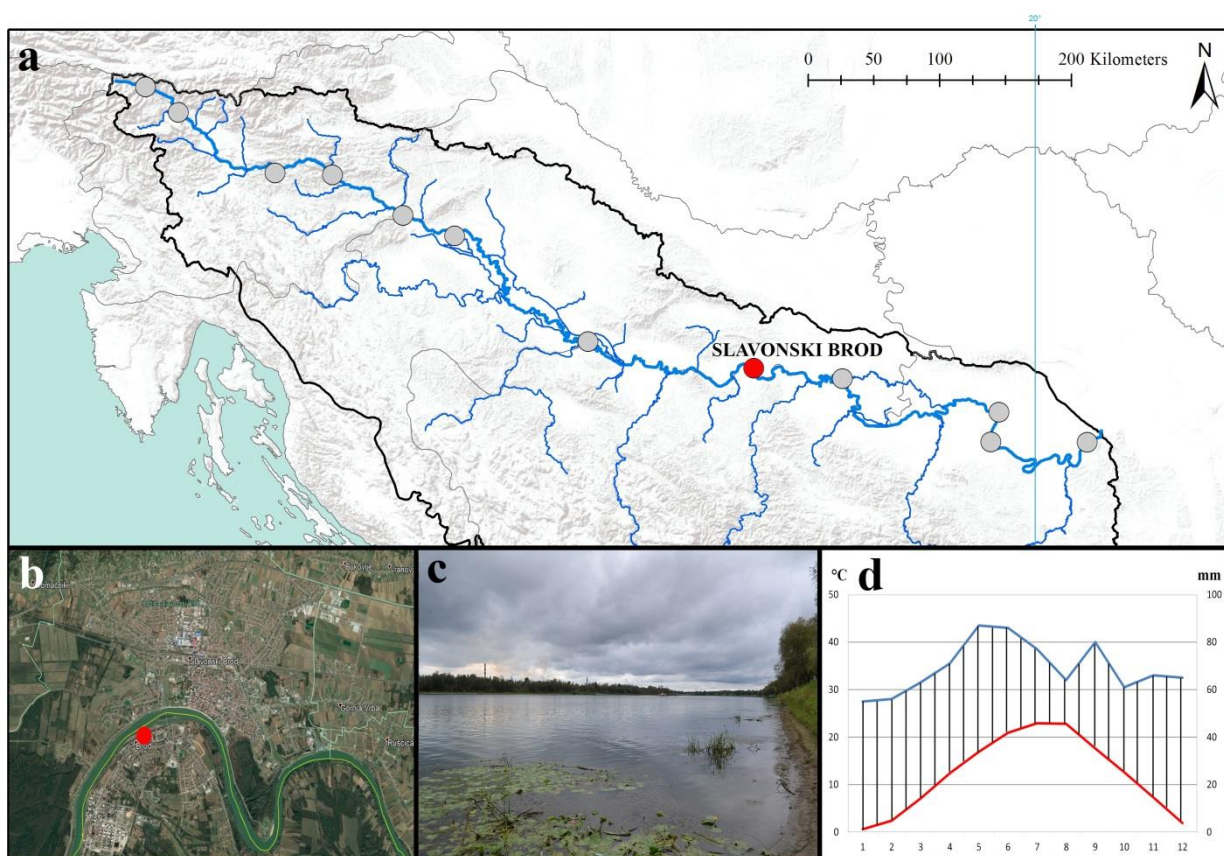
Jasenovac se nalazi u zoni umereno kontinentalne klime, gde je srednja godišnja temperatura vazduha 11,2°C. Najhladniji mesec je januar sa srednjom mesečnom temperaturom od 0,4°C, dok je najtopliji mesec jul sa srednjom mesečnom temperaturom od 20,5°C. Prosečna godišnja količina padavina u Jasenovcu iznosi 927 mm za period od 1982. do 2012. godine, dok se najveća količina padavina javlja u junu (preko 100 mm) (<https://en.climate-data.org>) (Slika 7d).



Slika 7. Jasenovac; a) položaj lokaliteta na reci Savi; b) mesto uzorkovanja; c) izgled terena; d) klimadijagram lokaliteta

Slavonski Brod (SLB) je grad na granici Hrvatske i Bosne i Hercegovine, sa oko 60000 stanovnika. Nalazi se na levoj obali reke Save, na 82 m.n.v., a od ušća Save u Dunav je udaljen 360 rečnih kilometara (Slika 8). Najveći antropogeni pritisci na ovom lokalitetu su poljoprivreda i rečni saobraćaj. Pored toga, važan je i uticaj rafinerije nafte koja je locirana na oko 3 km uzvodno od grada (ISRBC 2009).

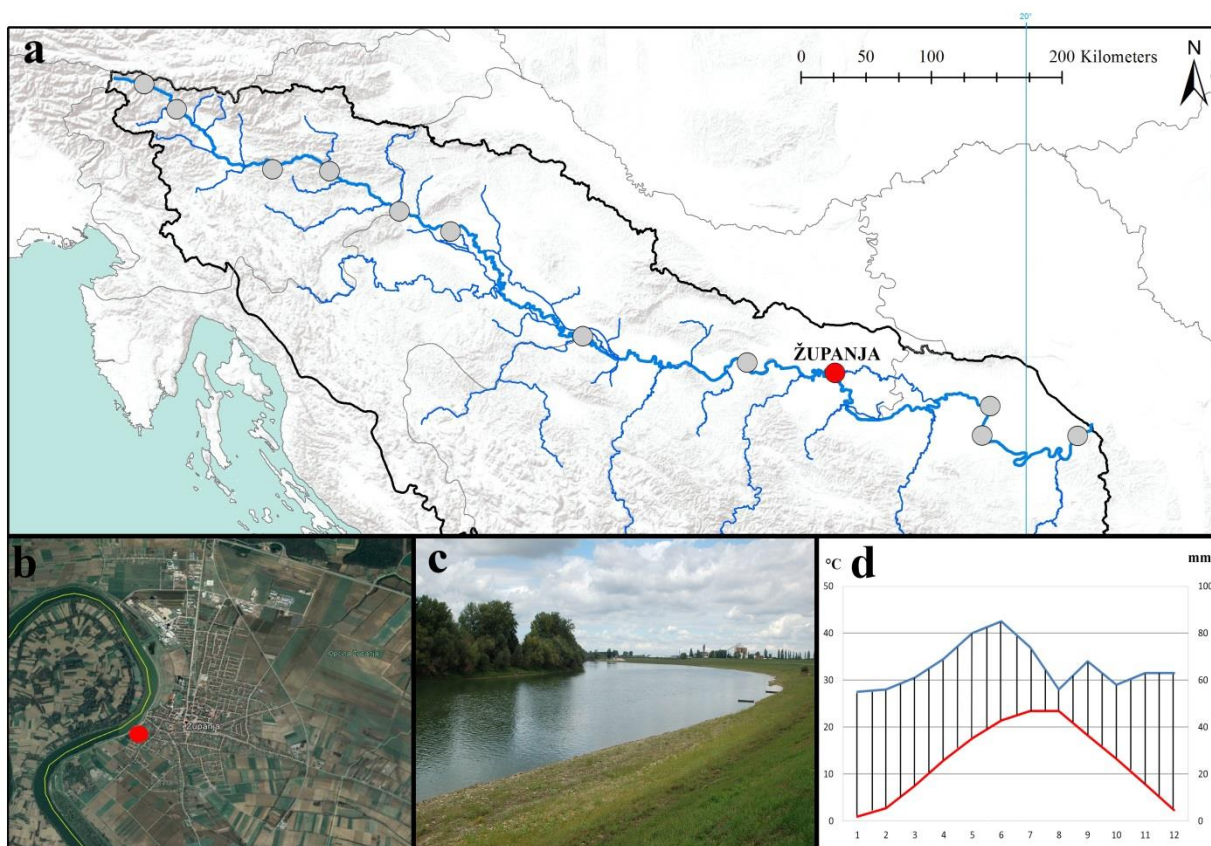
Klima u Slavskom Brodu je umereno kontinentalna, sa srednjom godišnjom temperaturom od 10,7°C i prosečnom godišnjom količinom padavina od 790 mm za period od 1982. do 2012. godine. Najhladniji mesec je januar sa prosečnom temperaturom od -0,1°C, a to je istovremeno i jedini mesec sa srednjom mesečnom temperaturom ispod 0°C. Najtopliji mesec je jul, sa srednjom temperaturom od 20,5°C. Najveća količina padavina se beleži u junu (99 mm) i novembru (81 mm) (<https://en.climate-data.org>) (Slika 8d).



Slika 8. Slavonski Brod; a) položaj lokaliteta na reci Savi; b) mesto uzorkovanja; c) izgled terena; d) klimadijagram lokaliteta

Županja (ŽUP) je grad sa oko 12000 stanovnika koji se nalazi na granici Hrvatske i Bosne i Hercegovine. Smešten je na levoj obali reke Save, na nadmorskoj visini od 77 m, a od ušća Save u Dunav je udaljen 262 rečna kilometra (Slika 9). S obzirom da se Županja nalazi u poljoprivrednom regionu, poljoprivredne aktivnosti su jedan od glavnih antropogenih pritisaka na ovaj deo reke Save. Pored poljoprivrede, važan uticaj ima i rečni saobraćaj, proizvodnja i prerada hrane, ali i naftna, rudarska, metaloprerađivačka, hemijska i tekstilna industrija, čiji se uticaj do Županje prenosi putem reke Bosne (iz Bosne i Hercegovine) koja se u Savu uliva uzvodno od grada (ISRBC 2009).

U Županji preovladava umereno kontinentalni tip klime. Srednja godišnja temperatura vazduha iznosi 11,3°C, a ukupna godišnja količina padavina u periodu od 1982. do 2012. godine iznosi 761 mm. Najhladniji mesec je januar sa srednjom mesečnom temperaturom od 0°C, a najtopliji je jul sa 21,4°C. Najveća količina padavina se javlja u junu mesecu i iznosi u proseku 92 mm (<https://en.climate-data.org>) (Slika 9d).

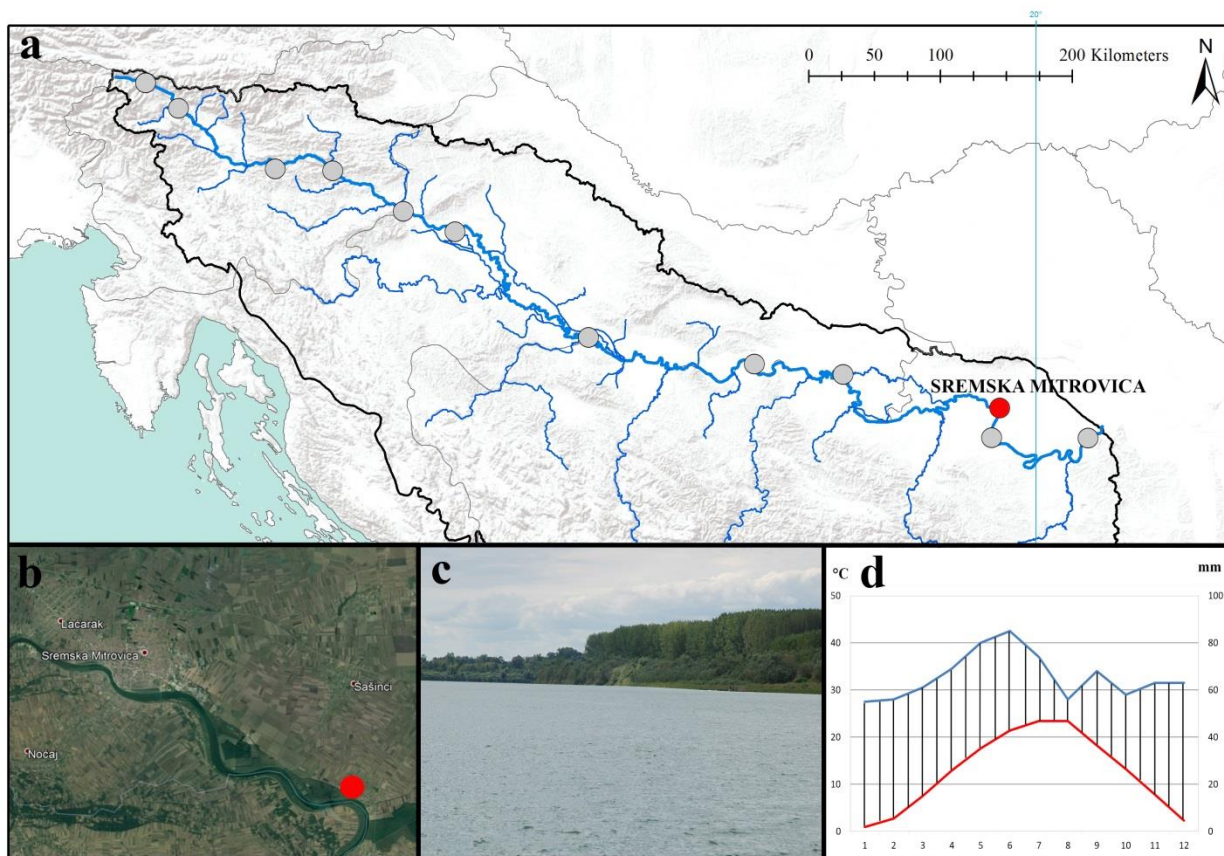


Slika 9. Županja; a) položaj lokaliteta na reci Savi; b) mesto uzorkovanja; c) izgled terena; d) klimadijagram lokaliteta

1.1.3. Istraživani lokaliteti na teritoriji Republike Srbije

Sremska Mitrovica (SRM) je grad sa oko 38000 stanovnika. Nalazi se na levoj obali reke Save, na nadmorskoj visini od 72 m, a od njenog ušća u Dunav udaljen je 118 rečnih kilometara (Slika 10). Poljoprivredne i industrijske aktivnosti, kao i rečni saobraćaj predstavljaju glavne antropogene pritiske u ovom delu rečnog toka. Pored toga, uzvodno od ovog lokaliteta u Savu se uliva reka Drina, koja svojim tokom prolazi kroz oblast bogatu rudama olova, cinka, zlata i litijuma. Neposredno uz Drinu, smešteni su takođe različiti pogoni drvne, hemijske i metaloprerađivačke industrije, čiji se uticaj rekom Drinom prenosi do Save. U samom gradu, postoje pogoni drvne, metalne i farmaceutske industrije, brodogradilište, kao i pogoni za proizvodnju i preradu hrane (ISRBC 2009).

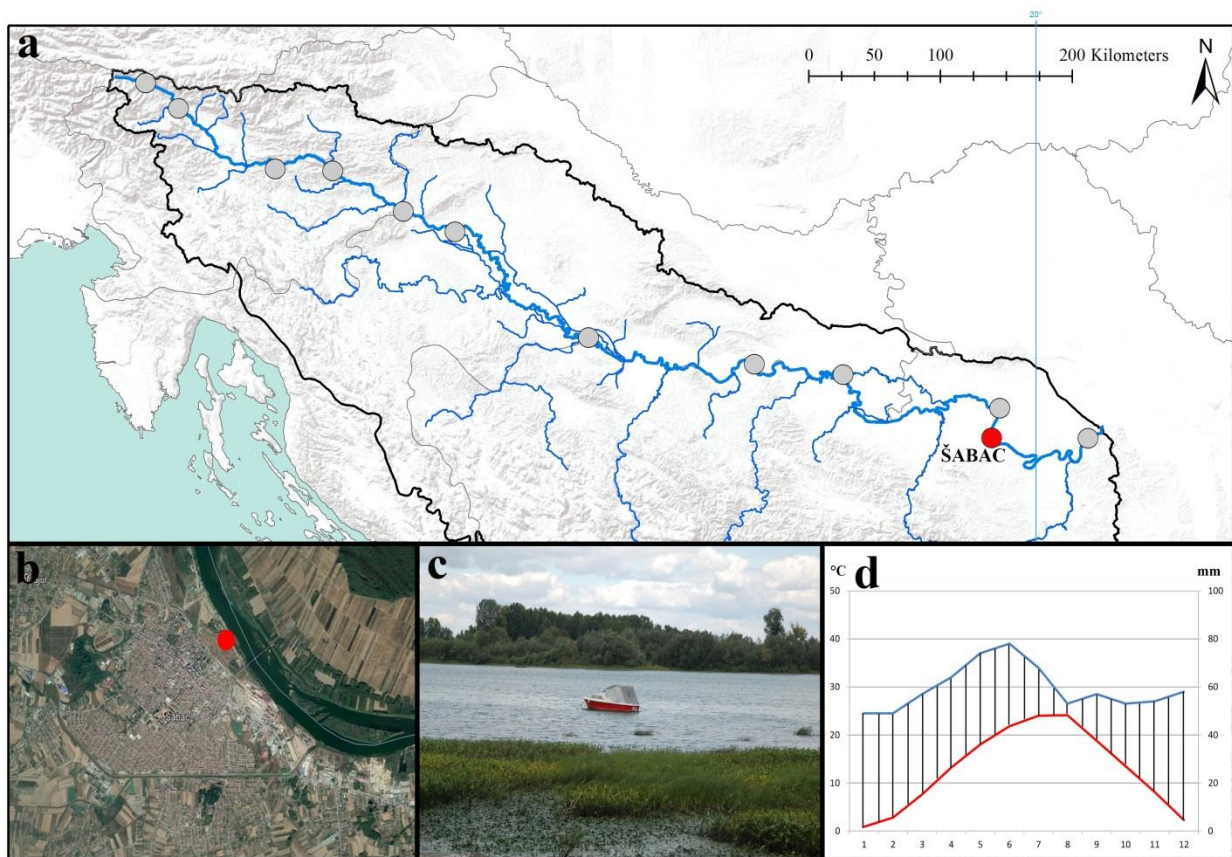
Klima u Sremskoj Mitrovici je umereno kontinentalnog tipa, sa srednjom godišnjom temperaturom od 11,4°C. Najhladniji mesec je januar sa temperaturom od 0,4°C, a najtopliji mesec je avgust sa prosečnom temperaturom od 21,3°C. Prosečna godišnja količina padavina za period od 1982. do 2012. godine iznosi 662 mm, a najveća količina padavina se beleži u junu (84 mm) (<https://en.climate-data.org>) (Slika 10d).



Slika 10. Sremska Mitrovica; a) položaj lokaliteta na reci Savi; b) mesto uzorkovanja; c) izgled terena; d) klimadijagram lokaliteta

Šabac (ŠAB) je grad na desnoj obali reke Save, sa oko 54000 stanovnika. Nalazi se na 71 m.n.v., a od ušća Save u Dunav je udaljen 106 rečnih kilometara (Slika 11). Pored poljoprivrede i rečnog saobraćaja, glavni izvor antropogenog zagađenja na ovom lokalitetu su industrijske aktivnosti. Naime, u Šapcu su aktivne hemijska, farmaceutska, prehrambena, tekstilna, mašinska i metaloprerađivačka industrija, kao i industrija građevinskog materijala i prerade drveta (ISRBC 2009).

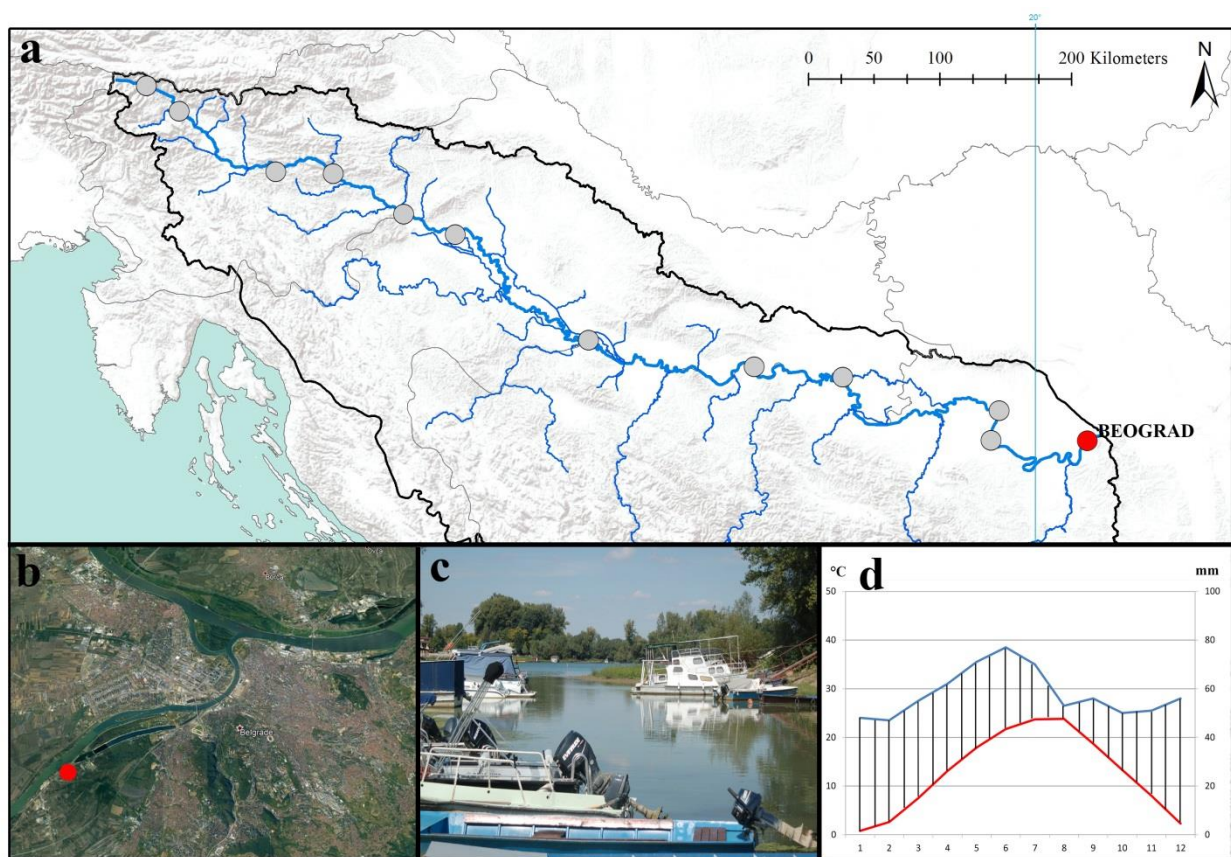
Dominantni tip klime u Šapcu je umereno kontinentalni, sa srednjom godišnjom temperaturom vazduha od 11,6°C. Najhladniji mesec je januar sa prosečnom temperaturom od 0,6°C, a najtopliji mesec je avgust sa prosekom od 21,4°C. Ukupna godišnja količina padavina za period od 1982. do 2012. godine iznosi 699 mm, a najveća količina padavina se beleži u junu (85 mm) (<https://en.climate-data.org>) (Slika 11d).



Slika 11. Šabac; a) položaj lokaliteta na reci Savi; b) mesto uzorkovanja; c) izgled terena; d) klimadijagram lokaliteta

Beograd (BEO) je prestonica Republike Srbije. Nalazi se na ušću Save u Dunav, na 69 m.n.v. Mesto uzorkovanja na ovom lokalitetu je od ušća udaljeno 14 rečnih kilometara (Slika 12). U Beogradu živi oko 1660000 stanovnika. Brojne urbane i industrijske aktivnosti, kao što su eksploatacija i sagorevanje uglja, prerada nafte, odlaganje industrijskog i komunalnog otpada, ispuštanje otpadnih voda u vodotokove i sl., se kontinuirano odvijaju na široj teritoriji grada Beograda. Istovremeno, na široj teritoriji grada se odvija i intenzivna poljoprivredna proizvodnja. Veliki industrijski kompleksi, kao što su kopovi uglja i termoelektrane, rafinerija nafte, pogoni hemijske industrije, industrijske i komunalne deponije predstavljaju najvažnije izvore zagađenja ovog dela toka reke Save uključujući i ušće u reku Dunav (ISRBC 2009).

Klima Beograda je takođe umereno kontinentalnog tipa. Srednja godišnja temperatura vazduha iznosi 12,3°C. Najhladniji mesec je januar sa prosečnom temperaturom od 1,1°C, a najtopliji mesec je avgust sa 22,5°C. Ukupna godišnja količina padavina u Beogradu za period od 1982. do 2012. godine iznosi 663 mm, pri čemu se najveća količina padavina beleži u junu (83 mm) (<https://en.climate-data.org>) (Slika 12d).



Slika 12. Beograd; a) položaj lokaliteta na reci Savi; b) mesto uzorkovanja; c) izgled terena; d) klimadijagram lokaliteta

1.2. Opšte karakteristike ispitivanih vrsta biljaka u obalnoj zoni reke Save

1.2.1. *Salix alba* L.

Red: Malpighiales
Familija: *Salicaceae*
Rod: *Salix* L.
Vrsta: *Salix alba* L.



Slika 13. *Salix alba* L. (bela vrba)

Familija Salicaceae obuhvata 56 rodova i oko 1220 vrsta (Christenhusz & Byng 2016) koje su uglavnom distribuirane u umerenom i hladnom pojasu severne hemisfere, a rodu *Salix* pripada oko 400 vrsta listopadnog drveća ili pleglih žbunova (Mabberley 1997). Vrste ovog roda se javljaju u blizini rečnih tokova, kao i na vlažnim zemljištima, bez preferenci ka određenom tipu geološke podloge (Jovanović & Tucović 1972).

Bela vrba (*Salix alba*) je listopadna drvenasta vrsta, visine do 25 m (Slika 13). Kora drveta je izbrazdana, smeđesive boje. Listovi su lancetastog oblika, dužine od 4 do 10 cm i širine do 1,5 cm. Najširi su na sredini liske, po obodu su sitno nazubljeni, tamno zelene boje. Cvetovi su jednopolni, pri čemu su muški cvetovi krupniji od ženskih. Bela vrba se oprašuje anemofilno, plodonosi u periodu maj-jun, a plod je pucajuća čaura (Jovanović & Tucović 1972).

Prema Kojić et al. (1997), *S. alba* pripada ekološkoj grupi mezofitnih vrsta biljaka, jer preferira umereno vlažna staništa na kojima sušni period izostaje. U odnosu na kiselost zemljišta (pH reakcija), ova vrsta pripada prelaznoj grupi između neutrofilnih i bazofilnih biljaka, dok u odnosu na količinu azota u zemljištu pripada prelaznoj grupi između mezotrofnih i eutrofnih biljaka. U pogledu svetlosnih uslova na staništu, *S. alba* pripada ekološkoj grupi polusciofita koje se karakterišu nemogućnošću opstanka u uslovima ispod 10% pune dnevne svetlosti, dok u pogledu temperaturnih uslova pripada grupi mezotermnih biljaka (biljke koje su u južnoj Evropi rasprostranjene u montanim oblastima).

Generalno, bela vrba je najrasprostranjenija u rečnim dolinama i poplavnim područjima, na aluvijalnom tipu zemljišta, od najnižih nadmorskih visina do iznad 1000 m (Jovanović & Tucović 1972).

1.2.2. *Populus nigra* L.

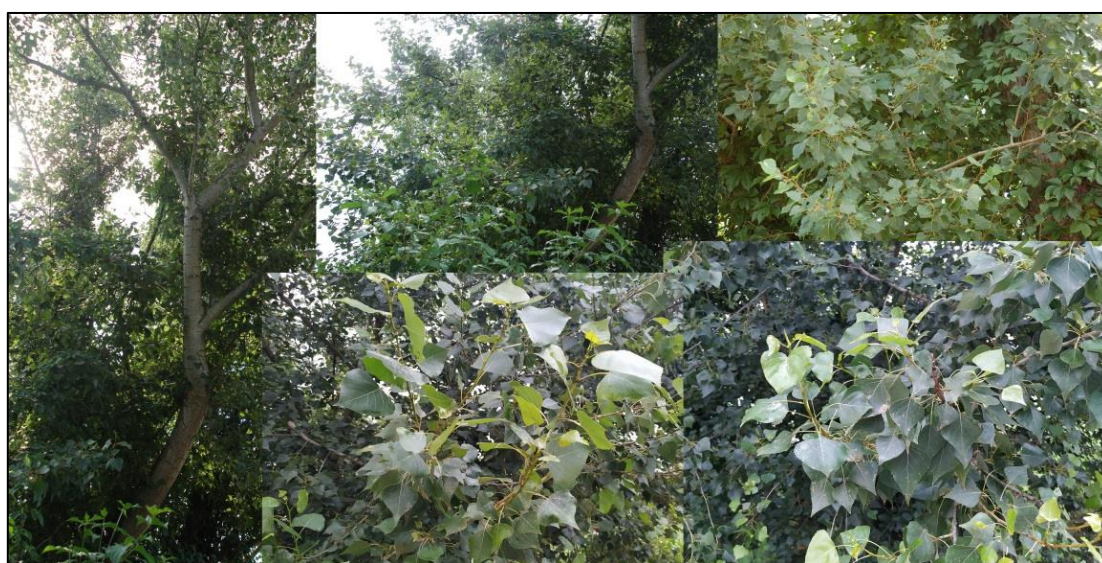
Red: Malpighiales

Familija: *Salicaceae*

Rod: *Populus* L.

Vrsta: *Populus nigra* L.

Familiji *Salicaceae* pripada oko 160 vrsta roda *Populus* koje su rasprostranjene u umerenom i hladnom pojasu severne hemisfere (Jovanović & Tucović 1972). Crna topola (*Populus nigra*) je listopadno drvo, visine do 40 m (Slika 14). Kora drveta je pepeljasto sive boje, uzdužno ispucala. Listovi su trouglastog oblika, zašiljeni pri vrhu, u osnovi ravni ili slabo srcasti, a po obodu nazubljeni. Dimenzije lista variraju od 5 do 10 cm u dužini i od 2,5 do 6 cm u širini. Cvetovi crne topole su jednopolni i oprašuju se anemohorno. Ova biljka plodonosi u maju, a plod je čaura (Jovanović & Tucović 1972).



Slika 14. *Populus nigra* L. (crna topola)

Prema Kojić et al. (1997), na osnovu indikatorskih vrednosti za vlažnost staništa, *P. nigra* pripada ekološkoj grupi mezofita, dok u odnosu na kiselost zemljišta pripada prelaznoj grupi između neutrofilnih i bazofilnih biljaka. U odnosu na količinu azota u zemljištu pripada prelaznoj ekološkoj grupi između mezotrofnih i eutrofnih biljaka. Prema indikatorskim vrednostima za svetlost *P. nigra* je svrstana u grupu polusciofita, a u pogledu temperaturnih zahteva pripada prelaznoj grupi između mezotermnih i termofilnih biljaka.

Poput *S. alba*, i *P. nigra* najčešće raste u rečnim dolinama i poplavnim područjima, na aluvijalnom tipu zemljišta, u ritским šumama sa belom topolom i belom vrbom (Jovanović & Tucović 1972; Jarić 2009).

1.2.3. *Populus alba* L.

Red: Malpighiales

Familija: *Salicaceae*

Rod: *Populus* L.

Vrsta: *Populus alba* L.

Bela topola (*Populus alba*) je drvenasta vrsta, visine do 35 m, pepeljasto bele, duboko ispucale kore stabla, prstastih listova sa 3-5 nejednako nazubljenih režnjeva, dužine i širine do 15 cm (Slika 15). Lice listova je tamnozeleno boje, a naličje je gusto pokriveno belim trihomama. Cvetovi su jednopolni, a ženski cvetovi mogu biti duži od muških. *Populus alba* se takođe oprašuje vetrom, plodonosi u periodu april-maj, a plod je čaura (Jovanović & Tucović 1972).



Slika 15. *Populus alba* L. (bela topola)

Prema indikatorskim vrednostima za vlažnost, *P. alba* pripada ekološkoj grupi submezofita jer preferira mezofilna staništa, ali se može naći i u kserofilnim fitocenoza (Kojić et al. 1997). U odnosu na pH reakciju zemljišta, *P. alba* pripada prelaznoj grupi između neutrofilnih i bazofilnih biljaka, dok je u pogledu potreba za azotom, odnosno hranljivim materijama u zemljištu, mezotrofna, odnosno preferira zemljišta srednje bogata azotom i mineralnim materijama. Na osnovu utvrđenih indikatorskih vrednosti za svetlost, bela topola je svrstana u prelaznu grupu između polusciofita i heliofita, dok je u pogledu temperature svrstana u ekološku grupu termofilnih biljaka. U poređenju sa *S. alba* i *P. nigra*, *P. alba* ima veće zahteve za dnevnom svetlošću i temperaturom.

Populus alba najčešće raste u rečnim dolinama i poplavnim područjima na peskovitim zemljištima. Takođe, ova vrsta češće raste i van zone obalne vegetacije u poređenju sa *P. nigra*, a retko se javlja na višim nadmorskim visinama (Jovanović & Tucović 1972).

1.2.4. *Ulmus glabra* Huds.

Red: Rosales

Familija: *Ulmaceae*

Rod: *Ulmus* L.

Vrsta: *Ulmus glabra* Huds.

Familija *Ulmaceae* obuhvata 9 rodova sa više od 150 vrsta drveća i žbunova. Rod *Ulmus* se javlja u umerenom pojasu severne hemisfere i obuhvata više od 30 vrsta drveća. Sve vrste ovog roda se oprašuju anemofilno (Jovanović 1970).

Brdski brest (*Ulmus glabra*) je listopadno drvo, visine do 35 m. Kora drveta je uzdužno ispucala. Listovi se nalaze na kratkim peteljčkama, široko eliptičnog oblika, dužine do 17 cm i širine do 11 cm (u gornjoj polovini lista). Vrh listova je naglo zašiljen, obod je dvostruko testerast (Slika 16). Često se na vrhu listova javljaju još 2-4 manja režnja. Naličje listova je prekriveno trihomama, a u pazuhu bočnih nerava su prisutni čuperci dlaka (trihome). *Ulmus glabra* ima dvopolne cvetove, plodonosi u aprilu i maju, a plod je orašica (Jovanović 1970).



Slika 16. *Ulmus glabra* Huds. (brdski brest)

U odnosu na ekološke indekse prema Kojić et al. (1997), brdski brest pripada ekološkoj grupi mezofita, dok u odnosu na kiselost zemljišta pripada grupi neutrofilnih biljaka koje se uvek nalaze na neutralnom, do slabo kiselom zemljištu. U pogledu potreba za azotom, odnosno hranljivim materijama u zemljištu, pripada prelaznoj grupi mezotrofnih i eutrofnih biljaka. Na osnovu indikatorskih vrednosti za svetlost, vrsta *U. glabra* je svrstana u prelaznu ekološku grupu između sciofita i polusciofita, što znači da joj odgovaraju uslovi od 3-10% pune dnevne svetlosti, dok u pogledu temperaturnih uslova pripada grupi mezotermnih biljaka.

Ulmus glabra najčešće raste u brdskim predelima, do 1300 m.n.v. (Jovanović 1970). Veoma je česta u riparijalnoj zoni reke Save jer preferira sveža zemljišta sa dovoljno vlage.

1.2.5. *Juglans regia* L.

Red: Fagales

Familija: *Juglandaceae*

Rod: *Juglans* L.

Vrsta: *Juglans regia* L.

Familija Juglandaceae obuhvata 12 rodova listopadnog drveća i žbunova. Rod *Juglans* obuhvata više od 20 vrsta jednodomog drveća, ređe žbunova, sa neparno perasto složenim listovima (Jovanović 1970).

Orah (*Juglans regia*) je listopadno drvo, visine do 25 m. Kora je sive boje i sa starenjem biljke uzdužno puca. Listovi su neparno perasti, najčešće sa 5 do 9 listića koji su eliptičnog oblika, na vrhu zašiljeni, dužine 5 do 18 cm i širine 5 cm. Listovi su sjajnozeleni, aromatični (Slika 17), a cvetovi su jednopolni (muški cvetovi su mnogo veći od ženskih) i plod je tipa koštunica (Jovanović 1970).



Slika 17. *Juglans regia* L. (orah)

Na osnovu indikatorskih vrednosti za vlažnost, orah je svrstan u ekološku grupu submezofita, što znači da se pored mezofilnih može naći i u kserofilnim fitocenozama (Kojić et al. 1997). U odnosu na kiselost zemljišta, ova vrsta pripada prelaznoj grupi između neutrofilnih i bazofilnih biljaka, dok je u pogledu količine azota u zemljištu na kome raste, kategorisana kao mezotrofna (preferira zemljišta srednje bogata azotom i mineralnim materijama). *Juglans regia* ne može opstati u uslovima sa manje od 10% pune dnevne svetlosti, zbog čega se u odnosu na svetlosne uslove na staništu svrstava u ekološku grupu polusciofita, dok u odnosu na temperaturu pripada prelaznoj grupi između mezotermnih i termofilnih biljaka.

Orah najčešće raste na svežim i bogatim zemljištima, ali je veoma čest i na aluvijalnim zemljištima. Osim spontanog rasta u prirodi, javlja se i kao kultivisana vrsta (Jovanović 1970).

2. CILJEVI ISTRAŽIVANJA

Polazne hipoteze ove doktorske disertacije su da su drvenaste biljke u poplavnoj zoni velikih reka izložene stresnim efektima potencijalno toksičnih elemenata iz zemljišta u poplavnoj zoni, koji se u njima akumuliraju poreklom iz prirodnih (litoloških-geogenih-geohemijskih) i/ili antropogenih izvora; da biljke usvajaju različite koncentracije potencijalno toksičnih elemenata; da postoji prostorni gradijent usvajanja toksičnih elemenata od strane biljaka u obalnoj zoni reke, od izvora do ušća.

Na osnovu datih hipoteza postavljeni su sledeći ciljevi:

- Utvrđivanje i evaluacija ukupnog sadržaja potencijalno toksičnih elemenata i njihove biodostupnosti u riparijalnom zemljištu
- Akumulacija potencijalno toksičnih elemenata u drvenastim biljkama autohtonim za riparijalnu zonu, baziranim na longitudinalnom transektu reke Save, od izvora do ušća u reku Dunav
- Usporedna analiza distribucije potencijalno toksičnih elemenata u zemljištu i odabranim drvenastim vrstama biljaka
- Utvrđivanje potencijala ispitivanih vrsta za korišćenje u biomonitoringu zagađivanja potencijalno toksičnim elementima u obalnoj zoni reke Save
- Identifikacija vrsta koje se potencijalno mogu koristiti za monitoring i potencijalnu bioremedijaciju degradiranih poplavnih zona reke Save

3. MATERIJAL I METODE

Terenska istraživanja su sprovedena u riparijalnoj zoni reke Save, na lokalitetima koji su izloženi različitim izvorima zagađenja, na teritorijama: Slovenije (Mojstrana, Radovljica, Litija, Vrhovo, Čatež), Hrvatske (Zagreb, Jasenovac, Slavonski Brod, Županja) i Srbije (Sremska Mitrovica, Šabac, Beograd). Kriterijum za odabir lokaliteta je bio da se na njihovim područjima nalaze riparijalna staništa koja su pod direktnim uticajem različitih tipova i intenziteta antropogenog zagađenja i degradacije, počev od Mojstrane (15 km od izvora Save Dolinke), pa do samog ušća Save u Dunav (Beograd). Selekcija lokaliteta za ispitivanja je usklađena sa programom istraživanja u okviru FP7 projekta Evropske Komisije („Managing the effects of multiple stressors on aquatic ecosystems under water scarcity“ - GLOBAQUA) kako bi se dobio kvalitetan set podataka koji se tiču kvaliteta vode, rečnog sedimenta i biote.

Kao model vrste za ova istraživanja izabrane su sledeće vrste drvenastih biljaka: bela vrba (*Salix alba*), bela topola (*Populus alba*), crna topola (*Populus nigra*), brdski brest (*Ulmus glabra*) i orah (*Juglans regia*). Kriterijumi za izbor navedenih vrsta su zastupljenost na više od 50% odabranih lokaliteta, visoka brojnost, pristupačnost za uzorkovanje i približno ista starost individua odabranih za ispitivanje.

3.1. Analiza kvalitativne i kvantitativne zastupljenosti biljnih vrsta i ekoloških uslova na riparijalnim staništima istraživanih lokaliteta

Floristička istraživanja na istraživanim lokalitetima u užoj i široj obalnoj zoni reke Save obavljena su tokom 2014 i 2015 godine. Tada je sakupljen herbarski materijal koji je deponovan u herbarijumu Instituta za biološka istraživanja „Siniša Stanković“ – Instituta od nacionalnog značaja za Republiku Srbiju, Univerziteta u Beogradu.

Tokom analitičke faze istraživanja utvrđen je kvalitativno-kvantitativni sastav vrsta u svakom fitocenološkom snimku. Za potrebe ovog istraživanja, na svakom lokalitetu je izabrano 10 površina u transektu, veličine 20×20 m.

Determinacija vaskularnih vrsta biljaka je urađena na osnovu nekoliko literaturnih izvora (Tutin 1964-1980; Hegi 1966; Josifović 1970-1980; Javorka & Chapody 1975; Šilić 1977, 1990; Čanak et al. 1978; Kojić 1981, 1986; Šarić 1986; Mišić & Lakušić 1990; Aichele & Golte-Bechtle 1997). Nomenklatura biljnih taksona je usklađena prema *The Plant List* ver. 1.1– radnoj listi svih poznatih biljnih taksona (<http://www.theplantlist.org/>). Brojnost vrsta u analiziranim sastojinama određena je Westhoff i van der Maarel-ovom kombinovanim skalom brojnosti i pokrovnosti (1-9), koja je isključivo numeričke prirode (Westhoff & van der Maarel 1973). Prema Braun-Blanquet (1964) određen je stepen prisutnosti zabeleženih vrsta (I-V), koji je izračunat kao procenat fitocenoloških snimaka u kojima je zabeležena određena vrsta u odnosu na ukupan broj snimaka na određenom lokalitetu (I) 1 – 20%; (II) 20 – 40%; (III) 40 – 60%; (IV) 60 – 80%; (V) 80 – 100%.

Stanišni uslovi u sastojinama su analizirani na osnovu indikatorskih vrednosti ekoloških grupa zabeleženih vrsta biljaka u odnosu na različite ekološke faktore (vlažnost, kiselost zemljišta, količina azota u zemljištu, svetlost i temperatura) i biološkog spektra (spektar životnih formi). Ekološki optimumi zabeleženih biljaka su ustanovljeni na osnovu gradijenta osnovnih ekoloških faktora (vlažnost, kiselost zemljišta, količina azota u zemljištu, svetlost i temperatura) koji su definisani ekološkim indeksima tj. indikatorskim vrednostima (Kojić et al. 1997). Za indikatorske vrednosti u odnosu na za kiselost, količinu azota, svetlost i temperaturu na staništu primenjena je skala 1 – 5, dok je za vlažnost primenjena skala 1 – 7 (Kojić et al. 1997). Procena ekoloških uslova na staništu na osnovu postojećih indikatorskih vrednosti biljaka izračunata je po formuli:

$$\text{Indikatorska vrednost} = \left(\sum_{i=1}^n N_{i,k} * EO_i \right) / \left(\sum_{i=1}^n N_{i,k} \right) \quad (1)$$

gde je EO_i ekološki optimum vrste za željeni ekološki faktor, a $N_{i,k}$ vrednost za brojnost vrste na lokalitetu.

Životne forme vrsta koje su prisutne u analiziranim sastojinama određene su prema klasifikaciji koju je ustanovio Raunkiaer (1934), a obeležene su sledećim oznakama: fanerofite (P), hemikriptofite (H), geofite (G), terofite (T), lijane (L), i epifite (E).

3.2. Uzorkovanje zemljišta i biljnog materijala u obalnoj zoni reke Save

Na svakom istraživanom lokalitetu odabrane su reprezentativne površine za uzorkovanje materijala za dalje analize. Budući da zemljišta u plavnoj zoni reka imaju izraženu prostornu, kao i vertikalnu varijabilnost unutar određenog profila zemljišta u pogledu strukture, granulometrijskog sastava, potencijala za akumulaciju polutanata i drugih svojstava, sakupljeni su uzorci zemljišta sa dubina 0-30 cm i 30-60 cm. Takođe, sakupljeni su uzorci površinskog sloja zemljišta dubine od 0-10 cm sa ciljem da se u njima pre svega utvrdi sadržaj potencijalno toksičnih elemenata, imajući u vidu da se elementi poreklom iz antropogenih izvora obično deponuju u površinskim slojevima zemljišta (Saint-Laurent et al. 2010, 2013; Kabata-Pendias & Mukherjee 2007). Na lokalitetu Mojstrana je bilo moguće uzorkovati samo sloj zemljišta dubine od 0-10 cm, dok je na lokalitetu Vrhovo zemljište bilo duboko svega 30 cm, te su sakupljeni uzorci zemljišta sa dubina 0-10 cm i 0-30 cm. Kompozitni uzorci su formirani od po 5 uzoraka zemljišta sakupljenih u zoni korenova istraživanih biljnih vrsta na svakom istraživanom lokalitetu. Uzorci su zatim smešteni u PVC kese, skladišteni na 4°C i temeljno homogenizovani pre dalje obrade. Zatim, u laboratoriji, svi uzorci su sušeni na vazduhu, samleveni u mlinu od nerđajućeg čelika (Polimix, Kinematica AG), prosejani kroz sito promera 2 mm, i držani u čistim polipropilenskim vrećama do analize. Nakon merenja higroskopske vlage, uzorci su sušeni u sušnici na 105°C, do konstantne težine (Binder, Tuttlingen, Nemačka).

Na svakom lokalitetu, odabrane su reprezentativne individue vrsta *Salix alba*, *Populus nigra*, *Populus alba*, *Ulmus glabra* i *Juglans regia*, vodeći računa da budu približno iste starosti (Slika 18). Iz koršnje tri do pet odabranih individua sakupljeno je po trideset grama listova, sa visine od 1,5-2 m, a iz zone njihove rizosfere su uzeti i uzorci korenova. Od uzoraka je formiran kompozitni uzorak za svaku vrstu, na svakom od lokaliteta. Uzorci korenova i listova su oprani destilovanom vodom, i sušeni u sušnici na 75 °C do konstantne težine. Nakon mlevenja u laboratorijskom mlinu (Polimix, Kinematica AG), uzorci su prosejani kroz sito od nerđajućeg čelika promera 1,5 mm, i podvrgnuti daljim pripremama za analizu sadržaja hemijskih elemenata.



Slika 18. Prikaz vrsta uzorkovanih za analizu u slivu reke Save

3.3. Analiza fizičkih i hemijskih karakteristika zemljišta

Granulometrijski sastav uzoraka zemljišta je određen metodom sedimentacije kombinovanom tehnikom pipetiranja u 0,4M tetrasodijum difosfatu ($\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$) (Atterberg 1911). U odnosu na izmeren sadržaj peska, praha i gline, izvršena je klasifikacija teksturnih klasa zemljišta na osnovu teksturnog trougla (Soil Science Division Staff 2017). Higroskopna vlaga zemljišta je određena sušenjem uzoraka zemljišta na temperaturi od 105°C do konstantne težine. Aktivna (pH u H_2O) i supstitucionna kiselost (pH u 0,1M KCl) su izmerene pomoću pH metra (WTW, inoLab 7110, Germany). Elektroprovodljivost [EC (dS/m)] je izmerena korišćenjem Knick Portamess 911 Conductometer (Germany). Sadržaj ugljenika (C%) i azota (N%) u zemljištu određen je spaljivanjem uzoraka na 1150°C pomoću CNS analizatora (Vario EL III, Germany), po metodi Nelson & Sommers (1996). Takođe, računskim putem je dobijen odnos C/N, dok je sadržaj organskog ugljenika (OC%) izračunat po sledećoj formuli:

$$OC(\%) = C(\%) - (0,12 * [\text{CaCO}_3]) \quad (2)$$

Adsorptivni kompleks zemljišta određen je ekstrakcijom elemenata u 0,1M BaCl_2 . Sadržaj kiselih izmenljivih katjona (ACE) izmeren je metodom optičke emisione spektrometrije za simultanu multielementarnu analizu (ICP-OES, Spectro Genesis, Germany) za Fe^{2+} i Mn^{2+} , ili titracijom sa 0,05M NaOH za Al^{3+} i H^+ . Bazni izmenljivi katjoni (BCE), Ca, Mg, K i Na su takođe određeni na ICP-OS. Kapacitet izmene katjona (CEC) predstavlja sumu kiselih (ACE) i baznih (BCE) katjona, a procenat zasićenosti bazama izračunat je preko formule:

$$\text{Zasićenost bazama (\%)} = 100 * \frac{BCE}{CEC} \quad (3)$$

3.4. Analiza sadržaja hemijskih elemenata u zemljištu i biljnom materijalu

U cilju određivanja sadržaja elementa, 0,5 g zemljišta je pripremljeno metodom vlažne digestije u mikrotalasnoj pećnici (CEM Mars 6), korišćenjem carske vode (3 ml HNO₃ i 9 ml HCl). Sadržaj Al, As, B, Cd, Cr, Cu, Fe, Li, Mn, Ni, Pb, Se, Sr i Zn je izmeren metodom optičke emisione spektrometrije za simultanu multielementarnu analizu (ICP-OES, Spectro Genesis). Tačnost rezultata je proverena analizom standardnog referentnog materijala za zemljište (Loam ground - ERM-CC141, IRMM sertifikovan od strane EC-JRC). Dobijene vrednosti bile su u granicama od 90-110%. Biodostupan sadržaj elemenata je određen korišćenjem dietilen-triamin-pentaacetatne kiseline (DTPA) prema metodi Lindsay & Norvell (1978). Radi jednostavnosti, termini *ukupni* i *DTPA dostupni* sadržaj elemenata će se koristiti u tekstu za frakcije elemenata ekstrahovane carskom vodom i DTPA frakcije.

Da bi se odredio ukupan sadržaj elemenata u biljkama, 0,3 g biljnog materijala je pripremljeno za analizu metodom vlažne digestije u mikrotalasnoj pećnici (CEM Mars 6), koristeći mešavinu azotne kiseline (koncentrovane HNO₃, 9 ml) i vodonik peroksida (30% H₂O₂, 3 ml). Sadržaj elemenata je određen ICP-OES (Spectro Genesis). Tačnost rezultata je proverena analizom standardnog referentnog materijala (Beach leaf - BCR-100, IRMM sertifikovan od strane EC-JRC). Referentne vrednosti su varirale u opsegu od 95-112%.

Sva merenja su sprovedena u 5 ponavljanja i predstavljena kao srednja vrednost i standardna devijacija. Sadržaj elemenata je izražen u mg kg⁻¹ suve mase. Granice detekcije analiziranih elemenata u uzorcima bile su (mg kg⁻¹): Al – 0,00558; As – 0,00513; B – 0,000306; Cd – 0,000249; Cr – 0,00097; Cu – 0,000744; Fe – 0,00756; Li – 0,037; Mn – 0,000662; Ni – 0,000274; Pb – 0,0042; Se – 0,00721; Sr – 0,00116 i Zn – 0,00622.

3.5. Statističke analize

Dostupnost PTE u zemljištu je procenjena pomoću koeficijenta dostupnosti (availability ratio index – AR indeks) (Massas et al. 2013), izračunatog kao odnos između DTPA sadržaja elementa (C_{DTPA}) i njegovog ukupnog sadržaja u zemljištu (C_{tot}), izraženog u procentima:

$$AR = \frac{C_{tot}}{C_{DTPA}} \times 100 \quad (4)$$

Za procenu potencijala ispitivanih vrsta biljaka za akumulaciju PTE, korišćen je biokoncentracioni faktor (BCF; Yoon et al. 2006), koji je izračunat kroz odnos koncentracija elemenata u korenu biljaka i ukupnog sadržaja elemenata u zemljištu:

$$BCF = \frac{C_{koren}}{C_{tot}} \quad (5)$$

gde C_{koren} predstavlja sadržaj elementa u uzorku korena, a C_{tot} predstavlja ukupan sadržaj istog elementa u zemljištu.

Za procenu efikasnosti usvajanja elemenata u nadzemnim delovima biljaka korišćen je translokacioni faktor (TF; Yoon et al. 2006), predstavljen kao odnos sadržaja elemenata u listovima i korenu. Translokacioni faktor je izračunat kao:

$$TF = \frac{C_{list}}{C_{koren}} \quad (6)$$

gde C_{list} predstavlja sadržaj elementa u listu, a C_{koren} predstavlja sadržaj istog elementa u korenu biljke.

Odnos između sadržaja ispitivanih elemenata u uzorcima zemljišta, korena i listova, procenjen je korišćenjem neparametarske Spirmanove korelacije, imajući u vidu da je test normalnosti pokazao da ne postoji normalna raspodela. Da bi se utvrdile statistički značajne razlike

u izmerenim sadržajima elemenata u uzorcima zemljišta, korenova i listova, korišćena je jednofaktorska analiza varijansi (One-way ANOVA), sa Tukey HSD (honest significant difference) *post-hoc* testom. Stepen statističke značajnosti Spirmanovih korelacija kao i ANOVA testa obeležen je sa * za $p < 0,05$; ** za $p < 0,01$ i sa *** za $p < 0,001$.

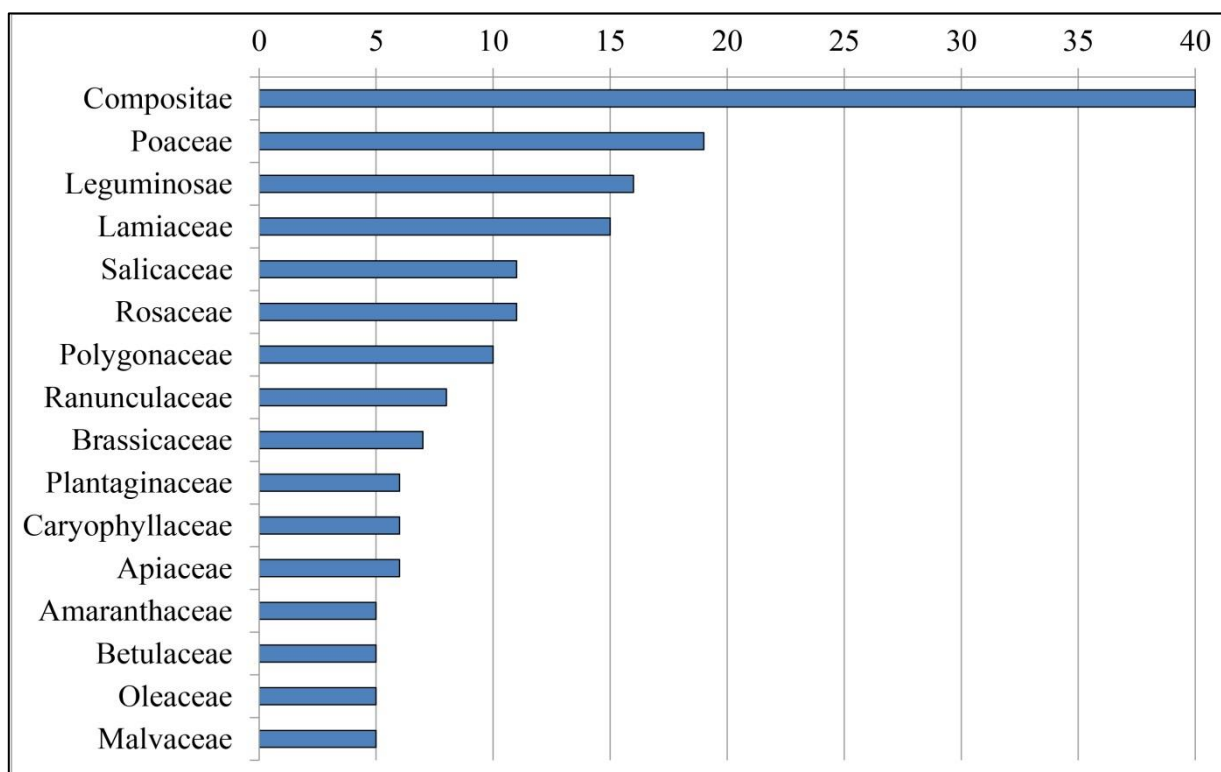
Kanonijska diskriminativna analiza (CDA - Canonical Discriminat Analysis) je korišćena za klasifikaciju ispitivanih vrsta biljaka u odnosu na njihov potencijal za akumulaciju PTE u korenu i listovima, kao i za utvrđivanje sličnosti i razlika na nivou lokaliteta na kojima su uzorkovane analizirane vrste.

Deskriptivne i multivarijatne statističke analize obavljene su korišćenjem softvera Statistica 10.0 (StaSoft Inc. 2010). Sve priložene karte su pripremljene u ArcGis programu ArcMap 10.5 (Esri Inc. 2016). Za pripremu klima dijagrama su korišćeni podaci sa sajta <https://en.climate-data.org>.

4. REZULTATI

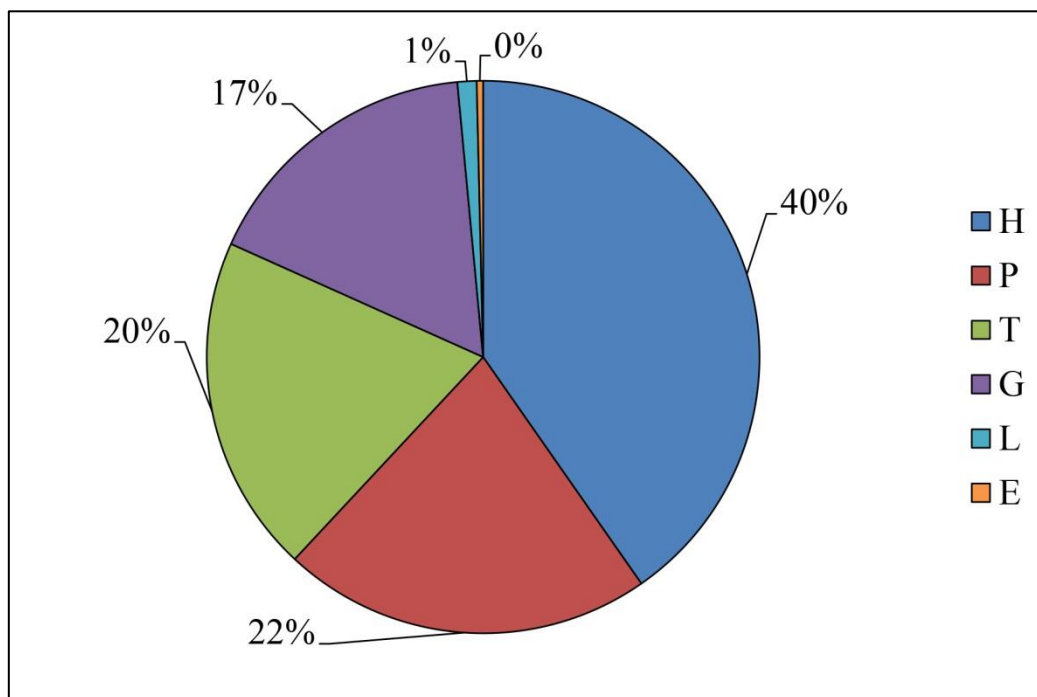
4.1. Kvalitativna i kvantitativna zastupljenost biljnih vrsta i ekološki uslovi na riparijalnim staništima istraživanih lokaliteta

Na ispitivanim lokalitetima utvrđeno je prisustvo 268 vrsta biljaka klasifikovanih u 68 familija (Prilog 1). Vrstama su najbogatije familije: *Compositae* (40 vrsta; 14,9%), *Poaceae* (19 vrsta; 7,1%), *Leguminosae* (16 vrsta; 6%), zatim *Lamiaceae* (15 vrsta; 5,6%), *Salicaceae* i *Rosaceae* (po 11 vrsta; 4,1%) i *Polygonaceae* (10 vrsta; 3,7%). Sve ostale familije su prisutne sa manje od 10 vrsta (Slika 19).



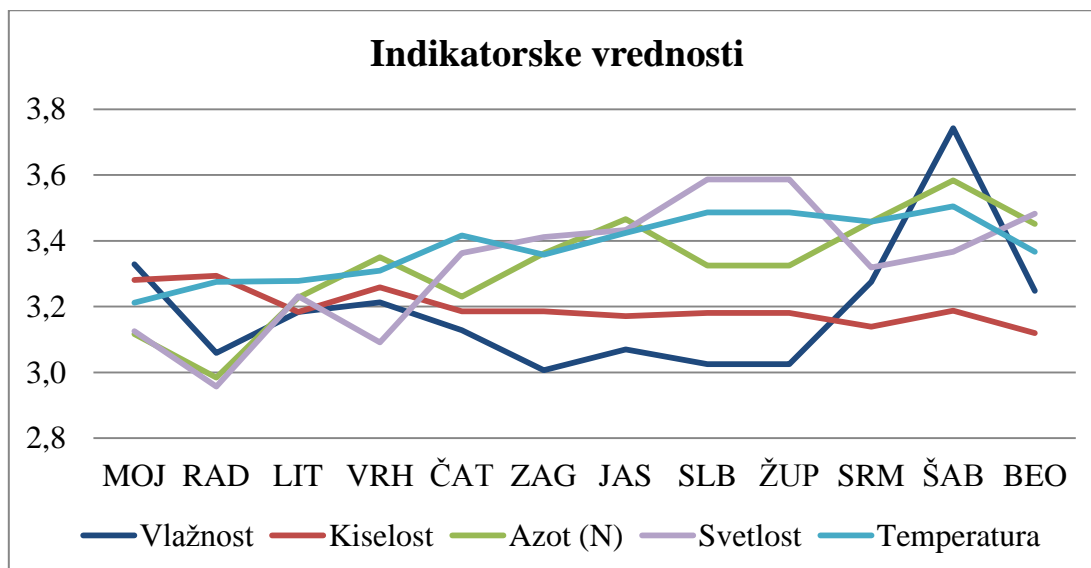
Slika 19. Spektar familija prisutnih na svim ispitivanim lokalitetima

Analiza spektra životnih formi je pokazala da su na istraživanom području najzastupljenije hemikriptofite (H) sa 40% od ukupnog broja zabeleženih vrsta biljaka, zatim slede fanerofite (P) sa 22%, terofite (T) sa 20%, geofite (G) sa 17%, lijane (L) sa 1%, i epifite (E) sa manje od 1% (Slika 20).



Slika 20. Spektar životnih formi biljaka prisutnih na ispitivanim lokalitetima

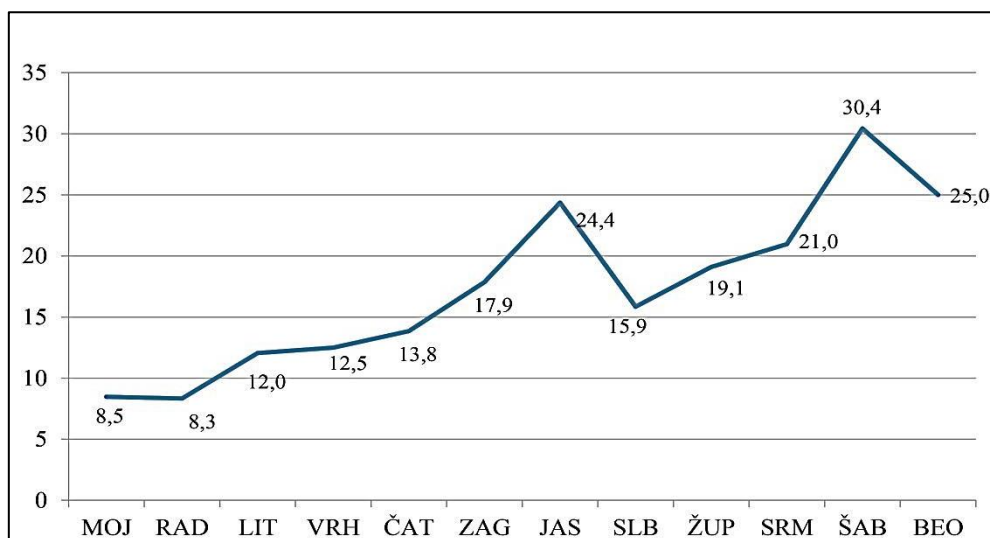
Indikatorske vrednosti koje odgovaraju ekološkom optimumu vrsta zabeleženim na istraživanim lokalitetima u obalnoj zoni reke Save, prikazane su na Slici 21. U odnosu na vlažnost, indikatorske vrednosti biljaka su se na ispitivanim lokalitetima kretale između 3 i 3,8, što biljke svrstava u grupu submezofita. Kiselost zemljišta (pH zemljišta) kao ekološki faktor je varirala u uskom opsegu od 3,1 do 3,3, što biljke svrstava u grupu neutrofilnih vrsta. Snabdevenost zemljišta azotom je varirala od 2,9 do 3,6, što vrste prisutne na ovim lokalitetima svrstava u kategoriju mezotrofnih biljaka. Takođe, u odnosu na ovaj ekološki faktor, uočava se trend povećanja vrednosti duž rečnog toka, što znači da zahtevi biljaka za hranljivim materijama rastu. Rastući trend je takođe uočen i za svetlost kao ekološki faktor, čije su vrednosti bile u rasponu od 2,9 do 3,6, na osnovu čega se zabeležene vrste biljaka klasifikuju u grupu polusciofita. Nešto uži opseg variranja, ali sličan trend prati i temperatura. Naime, indikatorske vrednosti biljaka za temperaturu su se kretale u opsegu od 3,2 do 3,5, na osnovu čega su vrste prisutne na istraživanim lokalitetima svrstane u kategoriju mezotermnih biljaka.



Slika 21. Fitoindikatorske vrednosti ekoloških faktora duž rečnog toka

S obzirom da prisustvo alohtonih vrsta može ukazati na biološku degradaciju staništa, analizirana je njihova brojnost i status invazivnosti na istraživanim lokalitetima (Tabela 1, Slika 22). Od ukupno 268 zabeleženih vrsta, 33 (12,3%) vrste su alohtone. Najzastupljenije su *Echinocystis lobata* i *Panicum crus galli* (na 10 lokaliteta), zatim *Solidago canadensis* (na 9 lokaliteta), *Amaranthus retroflexus*, *Ambrosia artemisiifolia*, *Erigeron canadensis*, *Xanthium strumarium* (na 8 lokaliteta), *Panicum capillare* (na 7 lokaliteta), *Amorpha fruticosa*, *Impatiens glandulifera*, *Parthenocissus quinquefolia* i *Reynoutria japonica* (na 6 lokaliteta), *Acer negundo*, *Fraxinus pennsylvanica*, *Helianthus tuberosus*, *Morus alba*, *Oxalis stricta*, *Portulaca oleracea* i *Robinia pseudoacacia* (na 5 lokaliteta), dok su ostale alohtone vrste biljaka zabeležene na manje od 5 lokaliteta.

Analiza brojnosti alohtonih biljaka na istraživanim lokalitetima pokazuje trend povećanja njihovog udela u ukupnoj evidentiranoj flori (Slika 22). Najmanji procenat alohtonih vrsta zabeležen je u flori Radovljice (8,3%), a najveći u Šapcu (30,4%).



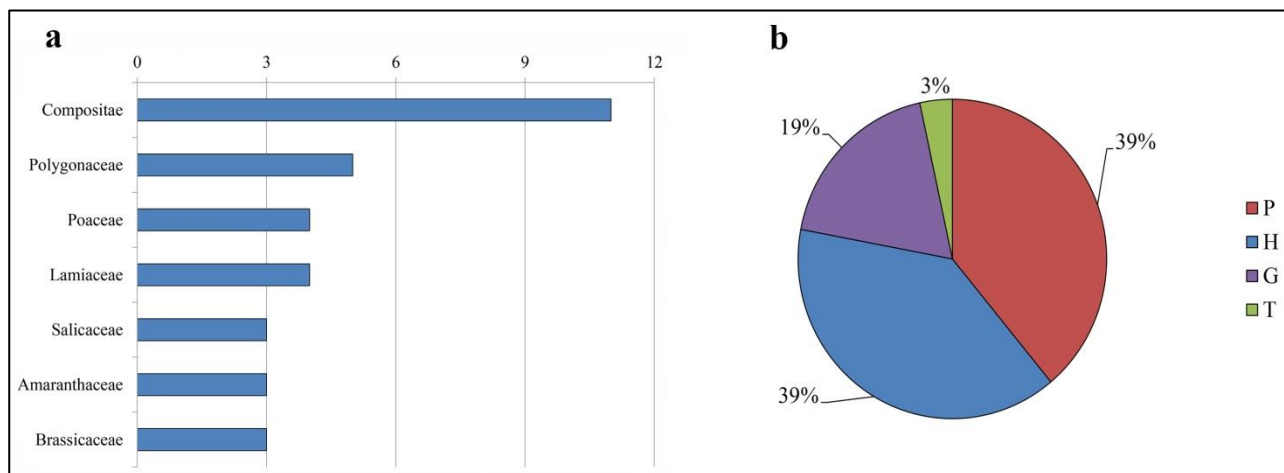
Slika 22. Procenat zastupljenosti alohtonih vrsta biljaka na ispitivanim lokalitetima

U odnosu na dostupne liste invazivnih vrsta u Srbiji (Lazarević et al. 2012), Hrvatskoj (Boršić et al. 2008), Bosni i Hercegovini (Maslo 2016), i Sloveniji (rezultat projekta Thuja 2: *Alien species – our concern, my responsibility*; Thuja 2 2012), na istraživanim područjima je zabeleženo prisustvo 24 alohtone vrste koje imaju inaktivni status (Tabela 1).

Tabela 1: Stepen invazivnosti alohtonih vrsta na istraživanom području u Srbiji, Hrvatskoj, Sloveniji i Bosni i Hercegovini, i broj istraživanih lokaliteta na kojima je vrsta prisutna

Status Alohtona vrsta	Srbija (Lazarević et al. 2012)	Hrvatska (Boršić et al. 2008)	Slovenija (Thuja 2, 2012)	Bosna i Hercegovina (Maslo 2016)	Br. lokaliteta
<i>Abutilon theophrasti</i>	/	invazivna	/	invazivna	2
<i>Acer negundo</i>	jako invazivna	invazivna	invazivna	invazivna	5
<i>Ailanthus altissima</i>	jako invazivna	invazivna	invazivna	invazivna	1
<i>Amaranthus albus</i>	/	/	/	/	1
<i>Amaranthus retroflexus</i>	potencijalno invazivna	invazivna	/	invazivna	8
<i>Ambrosia artemisiifolia</i>	jako invazivna	invazivna	invazivna	invazivna	8
<i>Amorpha fruticosa</i>	jako invazivna	invazivna	invazivna	invazivna	6
<i>Asclepias syriaca</i>	jako invazivna	invazivna	invazivna	invazivna	4
<i>Datura stramonium</i>	potencijalno invazivna	invazivna	/	invazivna	2
<i>Echinocystis lobata</i>	jako invazivna	invazivna	/	invazivna	10
<i>Erigeron canadensis</i>	jako invazivna	/	/	/	8
<i>Fraxinus pennsylvanica</i>	sporadično invazivna	/	invazivna	/	5
<i>Galinsoga parviflora</i>	sporadično invazivna	invazivna	/	invazivna	4
<i>Gleditsia triacanthos</i>	/	/	/	/	1
<i>Helianthus tuberosus</i>	jako invazivna	invazivna	/	invazivna	5
<i>Impatiens glandulifera</i>	sporadično invazivna	invazivna	invazivna	invazivna	6
<i>Medicago sativa</i>	/	/	/	/	3
<i>Morus alba</i>	/	/	/	/	5
<i>Morus nigra</i>	/	/	/	/	1
<i>Oenothera biennis</i>	sporadično invazivna	invazivna	/	invazivna	2
<i>Oxalis stricta</i>	potencijalno invazivna	/	/	/	5
<i>Panicum capillare</i>	/	invazivna	/	invazivna	7
<i>Panicum crus galli</i>	/	/	/	/	10
<i>Parthenocissus quinquefolia</i>	sporadično invazivna	invazivna	/	invazivna	6
<i>Portulaca oleracea</i>	/	/	/	/	5
<i>Reynoutria japonica</i>	jako invazivna	invazivna	invazivna	invazivna	6
<i>Robinia pseudoacacia</i>	jako invazivna	invazivna	/	invazivna	5
<i>Solidago canadensis</i>	sporadično invazivna	invazivna	/	invazivna	9
<i>Sorghum halepense</i>	sporadično invazivna	invazivna	/	invazivna	4
<i>Symphotrichum novi-belgii</i>	potencijalno invazivna	/	/	/	1
<i>Symphotrichum tradescantii</i>	potencijalno invazivna	/	/	/	1
<i>Veronica persica</i>	potencijalno invazivna	invazivna	/	invazivna	1
<i>Xanthium strumarium</i>	potencijalno invazivna	invazivna	/	invazivna	8

Na lokalitetu **Mojstrana** zabeleženo je 59 vrsta, svrstanih u 29 familija. Vrstama su najbogatije *Compositae* (8 vrsta; 13,6%) i *Salicaceae* (7 vrsta; 11,9%), dok su ostale familije prisutne sa manje od 5 vrsta (Slika 23a).



Slika 23. Florističke karakteristike lokaliteta Mojstrana;
a) zastupljenost familija, b) spektar životnih formi

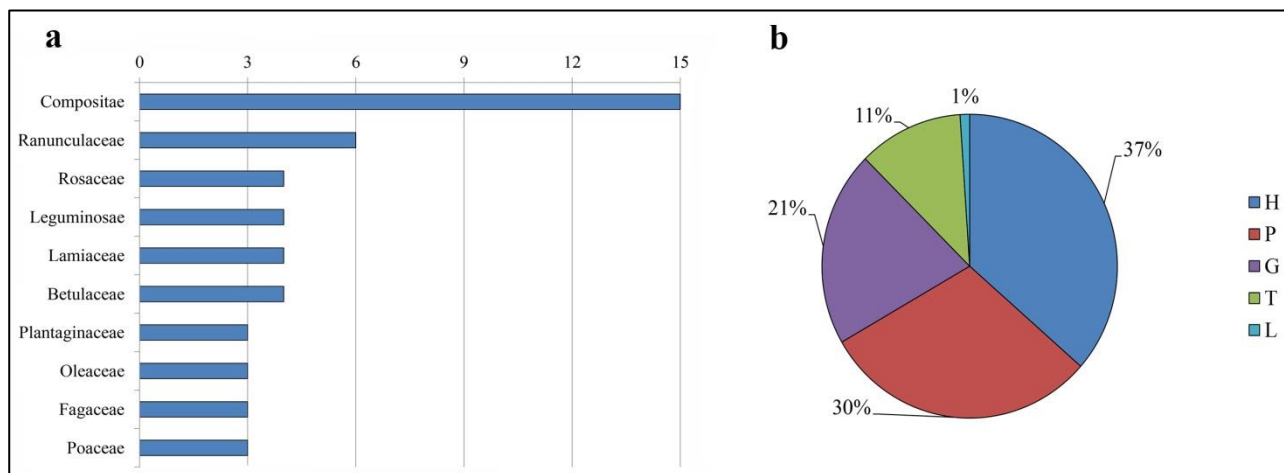
Među zabeleženim vrstama, najveću brojnost i stepen prisutnosti imaju: *Acer pseudoplatanus*, *Alnus incana*, *Betula pubescens*, *Cirsium oleraceum*, *Cornus sanguinea*, *Corylus avellana*, *Geranium macrorrhizum*, *Rubus caesius*, *Salix alba*, *Salix caprea*, *Salix viminalis*, *Urtica dioica* i *Viburnum opulus* (Prilog 1). Takođe, na ovom lokalitetu je zabeleženo prisustvo 5 (8,5%) alohtonih vrsta: *Medicago sativa* (2-5; V), *Solidago canadensis* (2-7; IV), *Impatiens glandulifera* (2-3; IV), *Reynoutria japonica* (3; III) i *Morus alba* (3; III) (Prilog 1).

U biološkom spektru flore lokaliteta Mojstrana dominiraju fanerofite i hemikriptofite (sa po 39%). Pored njih, zastupljene su i geofite (G=19%) i terofite (T=3%) (Slika 23b).

U odnosu na indikatorske vrednosti, ekološki uslovi u Mojstrani su sledeći:

- Vlažnost 3,329
- Kiselost zemljišta 3,281
- Snabdevenost zemljišta azotom 3,117
- Svetlost 3,126
- Temperatura 3,212

U **Radovljici** je utvrđeno prisustvo 96 vrsta biljaka klasifikovanih u 49 familija. Familije *Compositae* (15 vrsta; 15,6%) i *Ranunculaceae* (6 vrsta; 6,3%) su zastupljene sa najvećim brojem vrsta, dok su ostale familije zastupljene sa manje od 5 vrsta (Slika 24a).



Slika 24. Florističke karakteristike lokaliteta Radovljica;
a) zastupljenost familija, b) spektar životnih formi

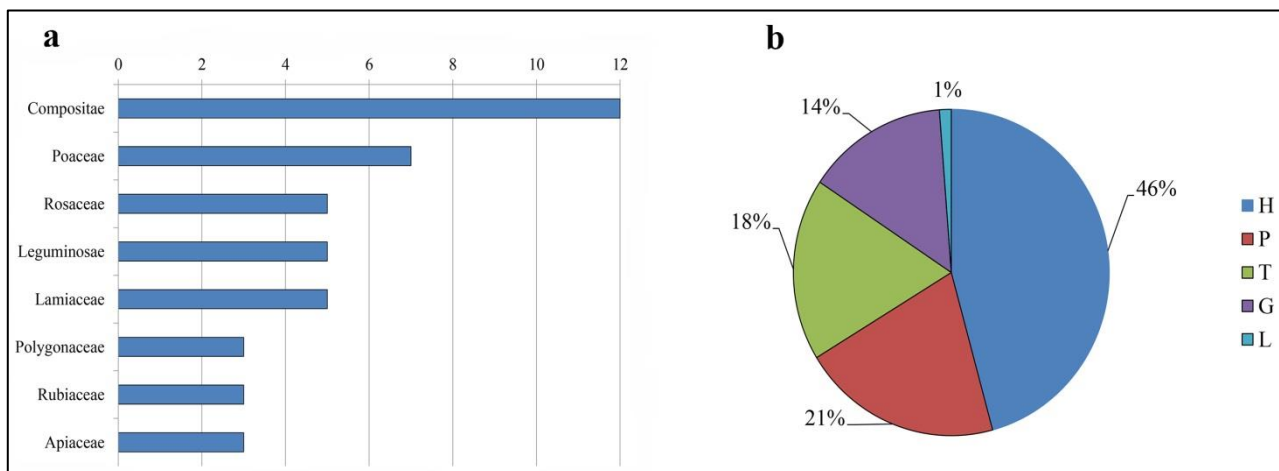
Vrste sa najvećom brojnošću i stepenom prisutnosti na lokalitetu Radovljica su: *Anemone hepatica*, *Aristolochia clematidis*, *Clematis vitalba*, *Cornus sanguinea*, *Cyclamen purpurascens*, *Epimedium alpinum*, *Fagus sylvatica*, *Helleborus niger*, *Hepatica nobilis*, *Mentha pulegium*, *Plantago lanceolata*, *Rubus caesius*, *Salix alba*, *Salvia glutinosa* i *Ulmus glabra* (Prilog 1). Takođe, zabeleženo je 8 (8,3%) alohtonih vrsta: *Solidago canadensis* (3-7; V), *Amaranthus retroflexus* (2; II), *Erigeron canadensis* (2-3; IV), *Impatiens glandulifera* (5; II), *Reynoutria japonica* (3; IV), *Fraxinus pennsylvanica* (2-5; V), *Helianthus tuberosus* (2; III) i *Robinia pseudoacacia* (2-3; IV).

Dominantan tip životne forme su hemikriptofite (H) sa 37% ukupnog broja vrsta, zatim fanerofite (P) sa 30%, geofite (G) sa 21%, terofite (T) sa 11% i lijane (L) sa 1% od ukupnog broja vrsta (Slika 24b).

U odnosu na indikatorske vrednosti biljaka, ekološki uslovi u Radovljici su sledeći:

- Vlažnost 3,059
- Kiselost zemljišta 3,294
- Snabdevenost zemljišta azotom 2,985
- Svetlost 2,957
- Temperatura 3,276

Na lokalitetu **Litija** su zabeležene 83 biljne vrste klasifikovane u 42 familije. Najveći broj zabeleženih vrsta pripada familijama *Compositae* (12; 14,5%), *Poaceae* (7; 8,4%) i *Rosaceae*, *Leguminosae* i *Lamiaceae* (5; 6%) (Slika 25a).



Slika 25. Florističke karakteristike lokaliteta Litija;
a) zastupljenost familija, b) spektar životnih formi

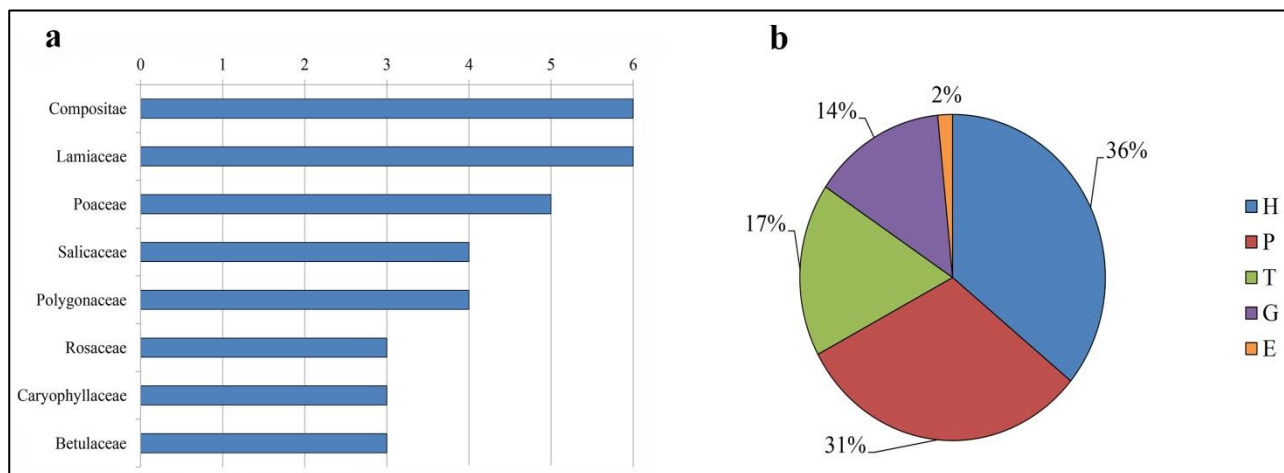
Vrste sa najvećom brojnošću i stepenom prisutnosti u Litiji su: *Bothriochloa ischaemum*, *Cornus sanguinea*, *Trifolium repens*, *Ulmus glabra*, *Ulmus laevis*, *Urtica dioica*, *Viburnum opulus* (Prilog 1). Od ukupnog broja vrsta, 10 (12%) su alohtone, a po zastupljenosti se ističu: *Echinocystis lobata* (5; III), *Panicum crus galli* (5; II), *Solidago canadensis* (5, II), *Parthenocissus quinquefolia* (5; III), *Reynoutria japonica* (3-7; III), *Helianthus tuberosus* (5-7; III), i *Medicago sativa* (3-5; III).

U biološkom spektru dominantan tip životne forme predstavljaju hemikriptofite (H) sa 46%, zatim slede fanerofite (P) sa 21%, terofite (T) sa 18%, geofite (G) sa 14%, i lijane (L) sa 1% od ukupnog broja vrsta (Slika 25b).

U odnosu na indikatorske vrednosti biljaka, ekološki uslovi u Litiji su sledeći:

- Vlažnost 3,184
- Kiselost zemljišta 3,184
- Snabdevenost zemljišta azotom 3,227
- Svetlost 3,231
- Temperatura 3,278

Na lokalitetu **Vrhovo** zabeležene su 64 vrste biljaka, svrstane u 33 familije. *Compositae* i *Lamiaceae* su prisutne sa po 6 vrsta (9,4%), *Poaceae* sa 5 vrsta (7,8%), dok su ostale familije prisutne sa manje od 5 vrsta (Slika 26a).



Slika 26. Florističke karakteristike lokaliteta Vrhovo;
a) zastupljenost familija, b) spektar životnih formi

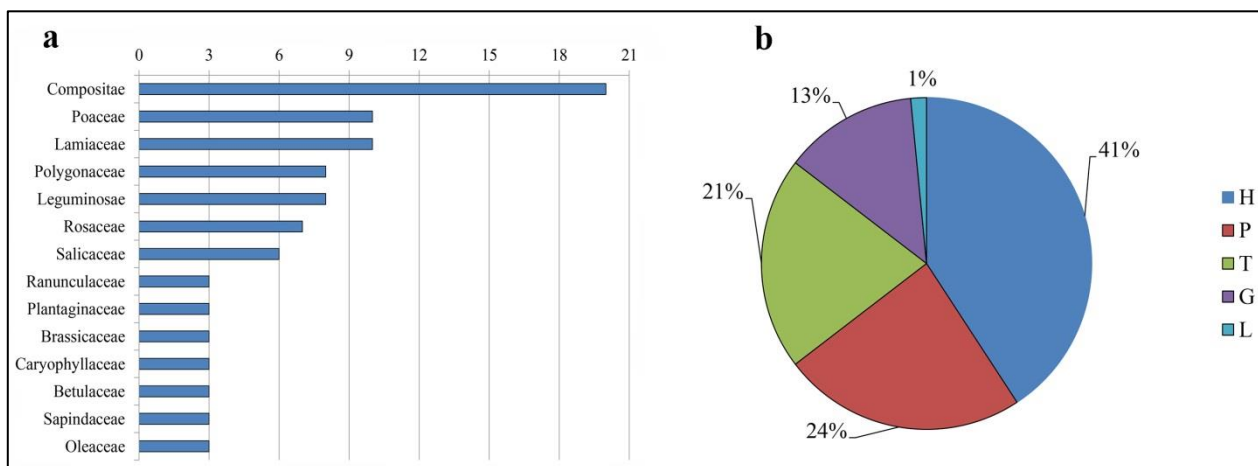
Među zabeleženim biljkama najveću brojnost i stepen prisutnosti imaju: *Clematis vitalba*, *Cornus sanguinea*, *Rubus caesius*, *Salix alba*, i *Urtica dioica* (Prilog 1). Takođe, zabeleženo je 9 (12,5%) alohtonih vrsta: *Echinocystis lobata* (3-5; IV), *Panicum crus galli* (3; III), *Solidago canadensis* (3-7; V), *Erigeron canadensis* (3; II), *Impatiens glandulifera* (2-5; III), *Reynoutria japonica* (5-8; IV), *Helianthus tuberosus* (3-5; IV), *Oxalis stricta* (2-3; III) i *Robinia pseudoacacia* (3-7; V).

Hemikriptofite (H) su dominantan tip životne forme sa 36%, zatim slede fanerofite (P) sa 31%, terofite (T) sa 17%, geofite (G) sa 14%, i epifite (E) sa 2% od ukupnog broja vrsta (Slika 26b).

U odnosu na indikatorske vrednosti biljaka, ekološki uslovi u Vrhovu su sledeći:

- Vlažnost 3,213
- Kiselost zemljišta 3,259
- Snabdevenost zemljišta azotom 3,350
- Svetlost 3,091
- Temperatura 3,310

U flori riparijalne zone lokaliteta Čatež, zabeleženo je 130 vrsta biljaka klasifikovanih u 46 familija. Najbrojnije vrstama su *Compositae* (20 vrsta; 15,4%), *Poaceae* i *Lamiaceae* (po 10 vrsta; 7,7%), *Polygonaceae* i *Leguminosae* (po 8 vrsta; 6,2%), *Rosaceae* (7; 5,4%) i *Salicaceae* (6 vrsta; 4,6%) (Slika 27a).



Slika 27. Florističke karakteristike lokaliteta Čatež;
a) zastupljenost familija, b) spektar životnih formi

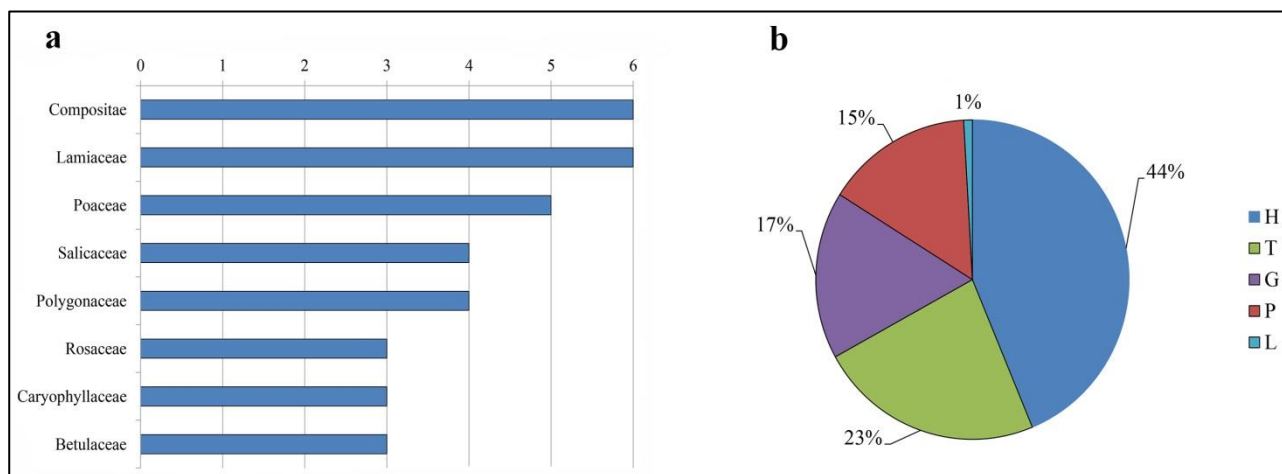
Vrste sa najvećom brojnošću i stepenom prisutnosti na lokalitetu Čatež su: *Calystegia sepium*, *Cornus sanguinea*, *Erigeron annuus*, *Populus nigra*, *Rubus caesius*, *Salix alba*, *Urtica dioica* (Prilog 1). Među zabeleženim vrstama, 17 (13,8%) vrsta ima alohtono poreklo, a po zastupljenosti se ističu: *Panicum crus galli* (5-7; IV), *Solidago canadensis* (7-8; V), *Acer negundo* (2-7; IV), *Helianthus tuberosus* (3-8; V), *Robinia pseudoacacia* (3-7; IV) i *Parthenocissus quinquefolia* (5-8; III).

U biološkom spektru dominiraju hemikriptofite (H=41%), dok ostale životne forme imaju manju zastupljenost: fanerofite (P=24%), terofite (T=21%), geofite (G=13%), i lijane (L=1%) (Slika 27b).

U odnosu na indikatorske vrednosti biljaka, ekološki uslovi u Čatežu su sledeći:

- Vlažnost 3,128
- Kiselost zemljišta 3,186
- Snabdevenost zemljišta azotom 3,231
- Svetlost 3,363
- Temperatura 3,417

Na lokalitetu **Zagreb** utvrđeno je prisustvo 112 vrsta klasifikovanih u 37 familija. Najbogatije vrstama su *Compositae* sa 24 vrste (21,4%), *Poaceae* sa 10 vrsta (8,9%), *Leguminosae* i *Lamiaceae* sa po 8 vrsta (7,1%), *Caryophyllaceae* sa 6 vrsta (5,4%), *Polygonaceae* i *Salicaceae* sa po 5 vrsta (4,5%), dok je u ostalim familijama zabeleženo manje od 5 vrsta (Slika 28a).



Slika 28. Florističke karakteristike lokaliteta Zagreb;
a) zastupljenost familija, b) spektar životnih formi

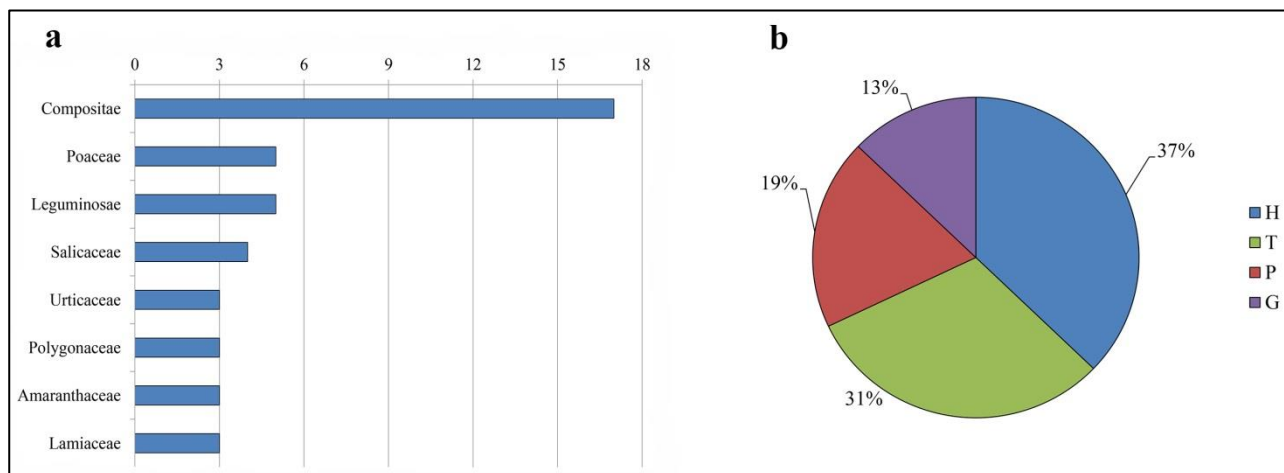
Vrste sa najvećom brojnošću i stepenom prisutnosti na anliziranim površinama u Zagrebu su: *Aristolochia clematitis*, *Artemisia vulgaris*, *Convolvulus arvensis*, *Erigeron annuus*, *Plantago lanceolata*, *Rubus caesius*, *Salix alba*, *Salix cinerea*, i *Urtica dioica* (Prilog 1). Takođe, u flori istraživanog područja zabeleženo je da 19 vrsta (17,9%) ima alohtono poreklo, od kojih su najzastupljenije: *Echinocystis lobata* (3-8; V), *Solidago canadensis* (3-7; V), *Ambrosia artemisiifolia* (5-7; V), *Reynoutria japonica* (3-7; V), *Helianthus tuberosus* (5-7; V), *Asclepias syriaca* (3-7; IV) i *Erigeron canadensis* (5; V).

U biološkom spektru, dominantan tip životne forme su hemikriptofite (H) sa 44%, zatim terofite (T) sa 23%, geofite (G) sa 17%, fanerofite (P) sa 15%, i lijane (L) sa 1% od ukupnog broja vrsta (Slika 28b).

U odnosu na indikatorske vrednosti biljaka, ekološki uslovi u Zagrebu su sledeći:

- Vlažnost 3,007
- Kiselost zemljišta 3,186
- Snabdevenost zemljišta azotom 3,362
- Svetlost 3,412
- Temperatura 3,358

Na lokalitetu **Jasenovac** zabeleženo je 78 vrsta biljaka, svrstanih u 37 familija. Najveći diverzitet vrsta imaju *Compositae* (17 vrsta; 21,8%), *Poaceae* i *Leguminosae* (po 5 vrsta; 6,4%), dok su ostale familije prisutne sa manje od 5 vrsta (Slika 29a).



Slika 29. Florističke karakteristike lokaliteta Jasenovac;
a) zastupljenost familija, b) spektar životnih formi

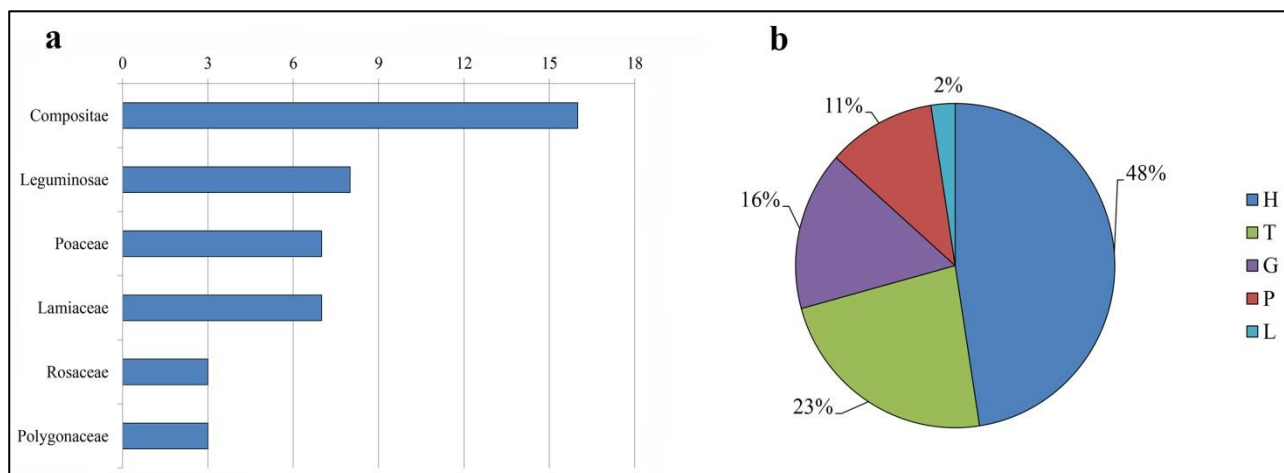
Vrste sa najvećom brojnošću i stepenom prisutnosti u Jasenovcu su: *Cornus sanguinea*, *Humulus lupulus*, *Populus nigra*, *Potentilla reptans*, *Rubus caesius*, *Salix alba*, *Urtica dioica* (Prilog 1). Takođe, zabeleženo je i prisustvo 19 alohtonih vrsta (24,4%), od kojih su najzastupljenije: *Echinocystis lobata* (3-5; V), *Panicum crus galli* (5-7; V), *Amorpha fruticosa* (5-8; V), *Amaranthus retroflexus* (3-7; IV), *Ambrosia artemisiifolia* (5-7; V) i *Acer negundo* (5-8; IV).

U biološkom spektru su najzastupljenije hemikriptofite (H=37%), zatim terofite (T=31%), fanerofite (P=19%), i geofite (G=13%) (Slika 29b).

U odnosu na indikatorske vrednosti biljaka, ekološki uslovi u Jasenovcu su sledeći:

- Vlažnost 3,070
- Kiselost zemljišta 3,171
- Snabdevenost zemljišta azotom 3,466
- Svetlost 3,433
- Temperatura 3,424

Na istraživanim površinama lokaliteta **Slavonski Brod**, zabeležene su 82 vrste biljaka koje su klasifikovane u 33 familije. Najbrojnije vrstama su *Compositae* sa 16 vrsta (19,5%), *Leguminosae* sa 8 vrsta (9,8%), *Poaceae* i *Lamiaceae* sa po 7 vrsta (8,5%), dok su ostale familije prisutne sa manje od 5 vrsta (Slika 30a).



Slika 30. Florističke karakteristike lokaliteta Slavonski Brod;
a) zastupljenost familija, b) spektar životnih formi

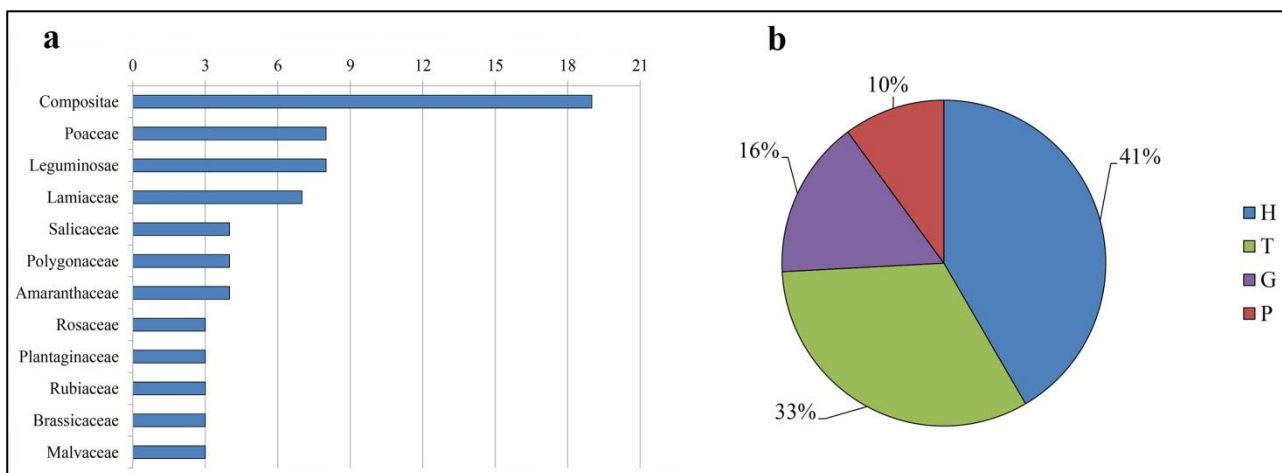
Visokom brojnošću i stepenom prisutnosti odlikuju se vrste: *Althaea officinalis*, *Potentilla reptans*, *Ranunculus repens*, *Salix alba*, i *Urtica dioica* (Prilog 1). Takođe, zabeleženo je i prisustvo 13 alohtonih vrsta (15,9%) od kojih su najbrojnije: *Amorpha fruticosa* (2-8; V), *Echinocystis lobata* (2-7; IV), *Panicum crus galli* (3-8; V), *Ambrosia artemisiifolia* (5-7; IV), i *Xanthium strumarium* (3-8; IV).

Biološki spektar je hemikriptofitskog tipa. Dominiraju hemikriptofite (H=48%), zatim terofite (T=23%), geofite (G=16%), fanerofite (P=11%) i lijane (L=2%) (Slika 30b).

U odnosu na indikatorske vrednosti biljaka, ekološki uslovi na istraživanom području Slavanskog Broda su sledeći:

- Vlažnost 3,025
- Kiselost zemljišta 3,181
- Snabdevenost zemljišta azotom 3,225
- Svetlost 3,587
- Temperatura 3,486

U flori lokaliteta **Županja**, ustanovljeno je 89 vrsta biljaka klasifikovanih u 29 familija. Najveći diverzitet imaju *Compositae* sa 19 vrsta (21,3%), *Poaceae* i *Leguminosae* sa po 8 vrsta (9%) i *Lamiaceae* sa 7 vrsta (7,9%), dok su ostale familije zastupljene sa manje od 5 vrsta (Slika 31a).



Slika 31. Florističke karakteristike lokaliteta Županja;
a) zastupljenost familija, b) spektar životnih formi

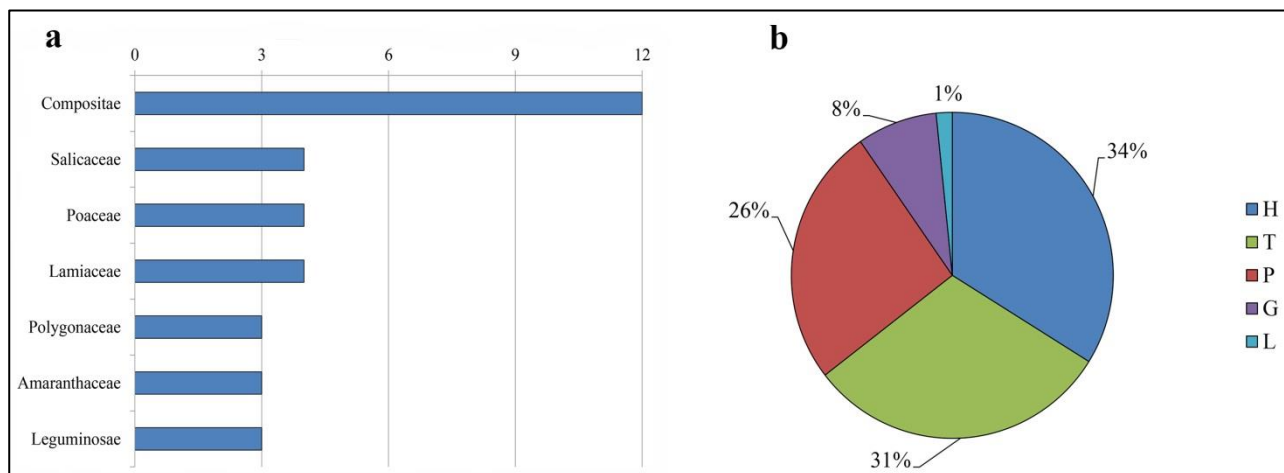
Vrste sa najvećom brojnošću i stepenom prisutnosti na lokalitetu Županja su: *Convolvulus arvensis*, *Plantago lanceolata*, *Ranunculus repens*, *Rorippa islandica* (Prilog 1). Takođe, u flori ovog područja je zabeleženo i prisustvo 15 alohtonih vrsta (19,1%), od kojih su najzastupljenije: *Panicum crus galli* (5-8; IV), *Amaranthus retroflexus* (3-7; IV), *Ambrosia artemisiifolia* (5-7; IV), *Panicum capillare* (3-7; IV), *Amorpha fruticosa* (2-8; IV), i *Portulaca oleracea* (3-7; IV).

Biološki spektar čine hemikriptofite (H) sa 41%, terofite (T) sa 33%, geofite (G) sa 16%, i fanerofite (P) sa 10% od ukupnog broja vrsta (Slika 31b).

U odnosu na indikatorske vrednosti biljaka, ekološki uslovi u Županji su sledeći:

- Vlažnost 3,025
- Kiselost zemljišta 3,181
- Snabdevenost zemljišta azotom 3,325
- Svetlost 3,587
- Temperatura 3,486

Floru lokaliteta **Sremska Mitrovica** čine 62 vrste, svrstane u 32 familije. Dvanaest (19,4%) vrsta je evidentirano u familiji *Compositae*, a po četiri (6,4%) u familijama *Salicaceae*, *Poaceae* i *Lamiaceae*, dok su ostale familije zastupljene sa manjim brojem vrsta (Slika 32a).



Slika 32. Florističke karakteristike lokaliteta Sremska Mitrovica;
a) zastupljenost familija, b) spektar životnih formi

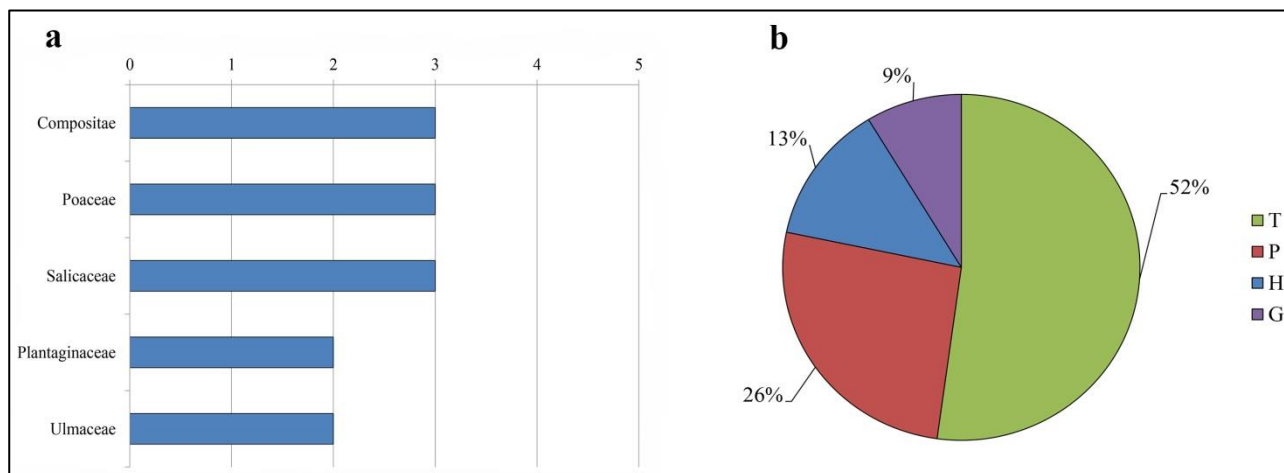
Najveću brojnost i stepen prisutnosti na istraživanom području Sremske Mitrovice imaju: *Bidens tripartita*, *Chenopodium album*, *Populus nigra* i *Urtica dioica* (Prilog 1). Takođe, evidentirano je i prisustvo 13 (21%) alohtonih vrsta, od kojih su najbrojnije: *Panicum crus galli* (7-8; IV), *Amaranthus retroflexus* (3-7; IV), *Xanthium strumarium* (2-8; IV) i *Amorpha fruticosa* (3-5; IV).

Hemikriptofite (H) su dominantan tip životne forme (34%) u biološkom spektru, zatim terofite (31%), fanerofite (26%), geofite (8%), i lijane (1%) (Slika 32b).

Indikatorske vrednosti biljaka ukazuju na sledeće ekološke uslove u Sremskoj Mitrovici:

- Vlažnost 3,275
- Kiselost zemljišta 3,139
- Snabdevenost zemljišta azotom 3,458
- Svetlost 3,319
- Temperatura 3,458

Na izabranim površinama lokaliteta **Šabac**, utvrđeno je prisustvo 23 vrste biljaka iz 15 familija, među kojima se po diverzitetu vrsta ističu *Compositae*, *Poaceae* i *Salicaceae* (po 3 vrste; 13%) (Slika 33a).



Slika 33. Florističke karakteristike lokaliteta Šabac;
a) zastupljenost familija, b) spektar životnih formi

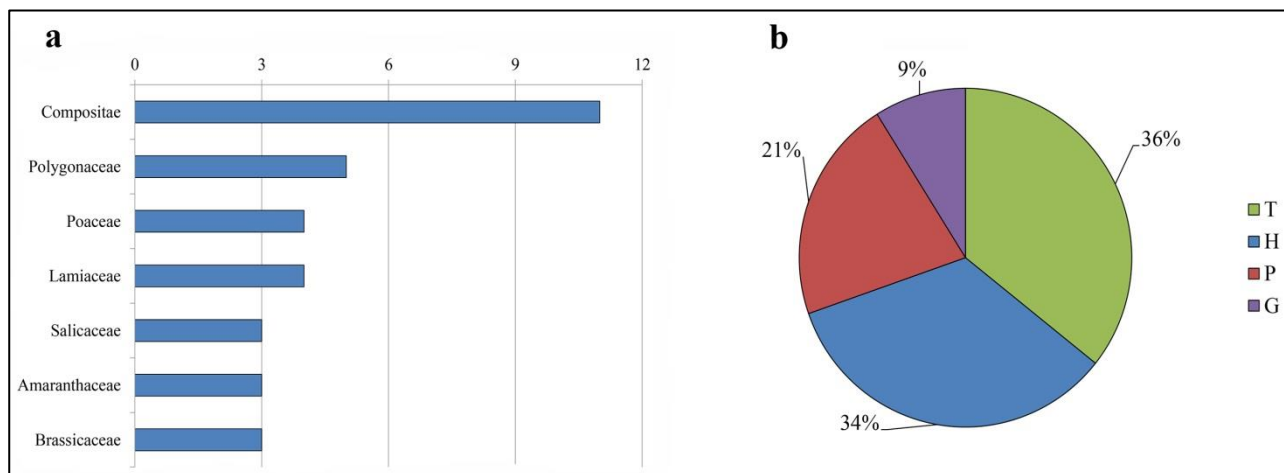
Za vrste *Persicaria lapathifolia*, *Populus nigra* i *Sagittaria sagittifolia*, utvrđena je najveća brojnost i stepen prisutnosti (Prilog 1). Takođe, konstatovano je i prisustvo 6 alohtonih vrsta (30,43%), među kojima su najbrojnije *Panicum crus galli* (5-7; V) i *Amorpha fruticosa* (2-5; IV).

Biološki spektar je terofitskog tipa. Pored terofita (52%), zastupljene su i fanerofite (26%), hemikriptofite (13%), i geofite (9%) (Slika 33b).

U odnosu na indikatorske vrednosti biljaka, ekološki uslovi u Šapcu su sledeći:

- Vlažnost 3,743
- Kiselost zemljišta 3,188
- Snabdevenost zemljišta azotom 3,584
- Svetlost 3,366
- Temperatura 3,505

Florističkim istraživanjima na izabranim površinama lokaliteta **Beograd** ustanovljeno je prisustvo 56 vrsta iz 26 familija, među kojima se najvećim diverzitetom vrsta odlikuju *Compositae* (11 vrsta; 19,6%) i *Polygonaceae* (5 vrsta; 8,9%) (Slika 34a).



Slika 34. Florističke karakteristike lokaliteta Beograd;
a) zastupljenost familija, b) spektar životnih formi

Vrste sa najvećom brojnošću i stepenom prisutnosti su: *Aristolochia clematitis*, *Ranunculus repens*, *Rorippa islandica* i *Salix alba* (Prilog 1). Takođe, evidentirano je i prisustvo 13 alohtonih vrsta (25%), među kojima su najbrojnije: *Amaranthus retroflexus* (3-7; IV), *Panicum crus galli* (5; IV), *Erigeron canadensis* (3-5; IV), i *Amorpha fruticosa* (3-5; IV).

Dominantan tip životne forme su terofite sa 36% od ukupnog broja vrsta, zatim hemikriptofite sa 34% fanerofite sa 21%, i geofite sa 9% od ukupnog broja vrsta (Slika 34b).

U odnosu na indikatorske vrednosti biljaka, ekološki uslovi u Beogradu su sledeći:

- Vlažnost 3,248
- Kiselost zemljišta 3,119
- Snabdevenost zemljišta azotom 3,451
- Svetlost 3,482
- Temperatura 3,367

Zastupljenost ispitivanih vrsta biljaka na istraživanim lokalitetima i njihove ekološke karakteristike

Salix alba je prisutna na svih 12 analiziranih lokaliteta. Najveću brojnost je imala na lokalitetima Jasenovac (5-8), Županja i Beograd (3-5). Stepenn prisutnosti ove vrste je bio najviši (V) na lokalitetima Radovljica, Čatež, Slavonski Brod, Sremska Mitrovica i Beograd (Tabela 2).

Vrsta ***Populus nigra*** je zabeležena na 9 analiziranih lokaliteta, a nije zabeležena u istraživačkoj zoni Radovljice, Litije i Slavnskog Broda. Najveću brojnost i stepenn prisutnosti, *P. nigra* je imala u Čatežu (3-8; V), zatim u Jasenovcu (3-7; V), Sremskoj Mitrovici (3-7; V) i Šapcu (3-7; IV) (Tabela 2).

Na lokalitetima Županja, Sremska Mitrovica, Šabac i Beograd zabeleženo je prisustvo vrste ***Populus alba***, čija je brojnost bila relativno visoka, a stepenn prisutnosti nizak. Najveća brojnost je zabeležena u Županji (3-7), a stepenn prisutnosti u Šapcu (III; Tabela 2).

Vrsta ***Ulmus glabra*** je zabeležena na 10 lokaliteta. Nije prisutna u Mojstrani i Vrhovu. Najviša brojnost i stepenn prisutnosti ove vrste su utvrđeni na lokalitetima Litija (7; V) i Radovljica (2-7; V) (Tabela 2).

Juglans regia je zabeležena na 7 analiziranih lokaliteta: Mojstrana, Radovljica, Litija, Vrhovo, Čatež, Jasenovac i Sremska Mitrovica. Brojnost i stepenn prisutnosti ove vrste su umereni, s tim da je najfrekventnija u Radovljici (V) (Tabela 2).

U flori istraživanog područja Sremske Mitrovice, zastupljene su sve ispitivane vrste. U odnosu na brojnost i stepenn prisutnosti dominantne su *P. nigra* i *S. alba* (Tabela 2).

4.2. Osnovne fizičko-hemijske karakteristike zemljišta na ispitivanim lokalitetima u obalnoj zoni reke Save

4.2.1. Fizičke karakteristike zemljišta

Procenat higroskopne vlage u uzorcima zemljištima sa ispitivanih lokaliteta i njihov granulometrijski sastav predstavljeni su u Tabeli 3.

Sadržaj higroskopne vlage u zemljištima sa analiziranih lokaliteta je bio nizak i kretao se u opsegu od 0,7% u Vrhovu, do 5,5% u Mojstrani.

Udeo krupnog peska (čestica veličine 0,2 - 2,0 mm) u ispitivanim uzorcima zemljišta dubine 0-30 cm je varirao u opsegu od 0,19% u Sremskoj Mitrovici, do 55,46% u Litiji, dok se udeo ove frakcije u zemljištima dubine 30-60 cm kretao od 0,11% u Županji do 31,27% u Litiji. Udeo sitnog peska (čestica veličine 0,06 - 0,2 mm) u analiziranim uzorcima zemljišta dubine 0-30 cm varirao je od 7,35% u Beogradu do 72,48% u Jasenovcu, dok je u uzorcima zemljišta dubine 30-60 cm udeo sitnog peska varirao od 10,44% u Beogradu do 81,44% u Jasenovcu. Ukupni udeo peska (čestica veličine 0,06 – 2,0 mm) u uzorcima zemljišta kretao se od 7,91% u Beogradu na dubini od 0-30 cm, do 90,09% u Litiji na dubini 0-30 cm, dok se ukupni udeo peska u zemljištu dubine 30-60 cm kretao od 10,80% u Beogradu do 91,82% u Litiji. Udeo praha (čestica veličine 0,002 - 0,06 mm) u ispitivanim uzorcima zemljišta dubine 0-30 cm je varirao od 9,29% u Litiji, do 64,75% u Beogradu. Slično, udeo praha u analiziranim zemljištima dubine 30-60 cm se kretao od 7,28% u Litiji, do 63,47% u Beogradu. Čestice prečnika ispod 0,002 mm predstavljaju čestice gline, a njihov udeo u ispitivanim uzorcima zemljišta dubine 0-30 cm se kretao u opsegu od 0,62% u Litiji, do 27,34% u Beogradu. Udeo čestica gline u analiziranim zemljištima dubine 30-60 cm je varirao od 0,90% u Litiji, do 25,73% u Beogradu.

Frakcija ukupnog peska je dominantna u uzorcima zemljišta gornjeg (Mojstrana, Radovljica, Litija, Vrhovo, Čatež) i srednjeg (Zagreb, Jasenovac) dela rečnog toka. Udeo ukupnog peska u mehaničkom sastavu zemljišta se smanjuje nizvodno, dok se udeo praha i gline povećava, i dominira u srednjem (Slavonski Brod) i donjem (Županja, Sremska Mitrovica, Šabac i Beograd) delu rečnog toka. Nije utvrđena pravilnost u sadržaju i distribuciji granulometrijskih frakcija sa porastom dubine analiziranih zemljišta (Tabela 3).

U odnosu na izmeren sadržaj peska, praha i gline u ispitivanim uzorcima, izvršena je klasifikacija zemljišta po granulometrijskom sastavu preko teksturnog trougla, i prikazana je u Tabeli 4. Rezultati su pokazali da zemljišta u Litiji (LIT), na obe analizirane dubine po mehaničkom sastavu pripadaju teksturnoj klasi peskovitih zemljišta, zemljišta iz Radovljice (RAD) i Jasenovca (JAS) pripadaju kategoriji ilovastog peska, kao i uzorci zemljišta iz Zagreba (ZAG), na dubini od 0-30 cm. Uzorci zemljišta iz Zagreba sa dubine 30-60 cm imaju nešto manji udeo peska, i pripadaju teksturnoj klasi zemljišta tipa peskovite ilovače, a istoj kategoriji pripadaju i analizirana zemljišta iz Mojstrane (MOJ) i Vrhova (VRH). Analizirano zemljište iz Čateža (ČAT) sa dubine 0-30 cm je takođe po tipu peskovita ilovača, dok dublji sloj zemljišta (30-60 cm) sa ovog lokaliteta spada u kategoriju ilovača. U kategoriju ilovača takođe spadaju analizirana zemljišta iz Slavanskog Broda (SLB), kao i zemljišta dubine 30-60 cm uzorkovana u Županji (ŽUP) i Sremskoj Mitrovici (SRM). Površinski slojevi zemljišta sa lokaliteta Županja i Sremska Mitrovica sadrže manji udeo peska i veći udeo praha pa se svrstavaju u klasu praškastih ilovača. Ovoj klasi pripadaju i zemljišta uzorkovana na obe dubine u Šapcu (ŠAB), i zemljište sa dubine 30-60 cm u Beogradu (BEO). Površinski sloj zemljišta uzorkovan u Beogradu (0-30 cm) sadrži viši procenat čestica gline i praha, i pripada teksturnoj klasi praškasto-glinovitih ilovača.

Tabela 3. Fizičke karakteristike zemljišta sa istraživanih lokaliteta; procenat higroskopne vlage, granulometrijski sastav i klasifikacija zemljišta prema mehaničkom sastavu

Lokalitet	Dubina cm	% vlage	2-0,2 mm Krupan pesak (%)	0,2-0,06 mm Sitan pesak (%)	Ukupan pesak (%)	0,06-0,002 mm Ukupan prah (%)	<0,002 mm Glina (%)	Klasifikacija zemljišta
MOJ	0-10	5,5	44,77	13,77	58,54	37,26	4,20	Peskovita ilovača
RAD	0-30	1,5	28,81	50,43	79,24	16,75	4,01	Ilovasti pesak
	30-60	1,3	20,50	62,34	82,84	13,42	3,74	Ilovasti pesak
LIT	0-30	0,9	55,46	34,63	90,09	9,29	0,62	Pesak
	30-60	0,8	31,27	60,55	91,82	7,28	0,90	Pesak
VRH	0-30	0,7	13,42	56,57	69,99	25,69	4,32	Peskovita ilovača
ČAT	0-30	2,6	3,81	51,53	55,34	37,94	6,72	Peskovita ilovača
	30-60	3,7	1,19	47,74	48,93	43,82	7,25	Ilovača
ZAG	0-30	1,8	30,83	45,92	76,75	18,41	4,84	Ilovasti pesak
	30-60	2,2	14,59	56,76	71,35	22,86	5,79	Peskovita ilovača
JAS	0-30	1,7	8,28	72,48	80,76	14,99	4,25	Ilovasti pesak
	30-60	2,3	8,08	81,44	80,44	8,73	2,75	Ilovasti pesak
SLB	0-30	2,7	0,36	42,34	42,70	42,10	15,20	Ilovača
	30-60	3,5	0,27	49,32	49,59	39,56	10,85	Ilovača
ŽUP	0-30	3,5	0,46	25,62	26,08	56,68	17,24	Praškasta ilovača
	30-60	3,6	0,11	29,39	29,50	49,13	21,37	Ilovača
SRM	0-30	3,6	0,19	22,07	22,26	55,57	22,17	Praškasta ilovača
	30-60	3,7	1,84	42,10	43,94	43,61	12,45	Ilovača
ŠAB	0-30	3,2	2,52	17,97	20,49	63,15	16,36	Praškasta ilovača
	30-60	4,5	0,38	19,42	19,80	61,09	19,11	Praškasta ilovača
BEO	0-30	4,2	0,56	7,35	7,91	64,75	27,34	Praškastoglinovita ilovača
	30-60	4,4	0,36	10,44	10,80	63,47	25,73	Praškasta ilovača

4.2.2. Hemijske karakteristike zemljišta

Aktivna (pH H₂O) i supstitucionna (pH KCl) kiselost, sadržaj ugljenika (C), azota (N), organskog ugljenika (OC), humusa (H), odnos C/N, elektroprovodljivost (EC), kao i osobine adsorptivnog kompleksa (BCE, ACE, CEC i zasićenost bazama) u ispitivanim zemljištima prikazani su u Tabeli 4.

Tabela 4. Hemijske karakteristike zemljišta sa istraživanih lokaliteta

Lokalitet i dubina zemljišta (cm)	pH (H ₂ O)	pH (KCl)	C %	OC %	H %	N %	C/N	EC dS/m	BCE cmol(+)kg ⁻¹	ACE cmol(+)kg ⁻¹	CEC cmol(+)kg ⁻¹	% zasićenosti bazama	
MOJ 0-10	7,37	6,92	24,09	20,63	19,43	1,34	15,37	0,391	8,68	0,24	8,92	97,31	
RAD	0-30	8,06	7,64	9,72	5,01	1,75	0,12	41,90	0,122	1,35	0,19	1,55	87,57
	30-60	7,44	7,48	8,60	4,87	1,38	0,07	48,89	0,150	1,30	0,05	1,35	96,45
LIT	0-30	8,17	7,96	5,74	2,89	1,10	0,08	35,20	0,091	0,70	0,00	0,70	100
	30-60	8,02	7,81	5,29	2,21	0,06	0,05	51,73	0,133	0,48	0,00	0,48	100
VRH 0-30	7,87	7,49	5,68	3,68	2,00	0,14	25,51	0,165	1,64	0,48	2,12	77,33	
ČAT	0-30	7,98	7,44	5,38	3,43	1,77	0,16	20,91	0,123	1,87	0,12	1,99	93,95
	30-60	7,53	7,08	5,26	3,44	3,19	0,14	24,38	0,170	2,71	0,48	3,19	84,94
ZAG	0-30	8,00	7,69	6,33	3,26	0,36	0,08	39,89	0,132	1,14	0,24	1,38	82,61
	30-60	7,70	7,36	6,08	3,41	1,85	0,08	41,59	0,216	1,37	0,24	1,61	85,10
JAS	0-30	8,03	7,75	5,87	2,55	1,02	0,06	40,72	0,151	1,38	0,48	1,86	74,20
	30-60	7,70	7,53	5,48	2,33	0,62	0,04	58,05	0,289	0,96	0,05	1,01	95,24
SLB	0-30	7,92	7,37	4,60	2,61	1,38	0,13	20,83	0,172	2,07	0,38	2,46	84,35
	30-60	7,68	7,17	4,26	2,26	1,59	0,11	21,10	0,378	2,62	0,36	2,98	87,93
ŽUP	0-30	7,88	7,29	3,68	2,13	1,92	0,14	15,09	0,184	2,82	0,72	3,54	79,66
	30-60	7,81	7,15	3,08	1,56	1,10	0,11	13,89	0,347	2,55	0,34	2,88	88,34
SRM	0-30	7,88	7,42	3,41	2,08	1,71	0,15	11,00	0,333	2,78	0,41	3,19	87,20
	30-60	7,78	7,25	3,37	1,57	1,47	0,13	12,25	0,742	2,64	0,24	2,88	91,66
ŠAB	0-30	7,86	7,32	3,34	1,92	1,74	0,15	12,72	0,249	2,90	0,48	3,38	85,28
	30-60	7,74	7,06	3,20	1,83	1,72	0,14	12,51	0,501	3,25	0,36	3,61	90,02
BEO	0-30	7,82	7,21	4,28	2,99	2,90	0,23	11,17	0,203	3,62	0,48	4,10	88,28
	30-60	7,70	7,07	3,04	1,89	1,73	0,17	11,13	0,413	3,70	0,50	4,21	88,02

Aktivna kiselost ispitivanih zemljišta varira od 7,37 u Mojstrani, do 8,17 u Litiji, što ova zemljišta svrstava u grupu blago do umereno alkalnih zemljišta prema Soil Science Division Staff (2017). Supstitucionna kiselost varira od 6,92 u Mojstrani, do 7,96 u Litiji. Prema Soil Science Division Staff (2017), na osnovu vrednosti supstitucione kiselosti ispitivana zemljišta se svrstavaju u neutralna do blago alkalna.

Elektroprovodljivost ispitivanih zemljišta odnosno sadržaj soli u zemljištu, kreće se u uskom opsegu od 0,122 dS/m u Radovljici, do 0,742 dS/m u Sremskoj Mitrovici. Prema klasifikaciji datoj u Soil Science Division Staff (2017), ispitivana zemljišta su klasifikovana kao nezaslanjena (<2 dS/m).

Procenat ugljenika (C%) u ispitivanim zemljištima varira od 3,04% u Beogradu, do 24,09% u Mojstrani, dok se procenat organskog ugljenika (OC%) kreće od 1,56% u Županji, do 20,63% u Mojstrani. Slično tome, procenat humusa u zemljištima varira od 0,6% u Litiji, do 19,43% u Mojstrani. Sadržaj azota u ispitivanim zemljištima je nizak, i varira u uskom opsegu od 0,04% u

Jasenovcu do 1,34% u Mojstrani. Odnos ugljenika i azota varira od 11,00% u Sremskoj Mitrovici, do čak 58,05% u Jasenovcu.

Bazni izmenljivi katjoni (BCE), Ca, Mg, K i Na variraju u opsegu od 0,48 cmol(+)kg⁻¹ u Litiji, do 8,68 cmol(+)kg⁻¹ u Mojstrani. Udeo kiselih izmenljivih katjona (ACE) Fe²⁺, Mn²⁺, Al³⁺ i H⁺ se kreće u uskom opsegu od 0 cmol(+)kg⁻¹ u Litiji, do 0,72 cmol(+)kg⁻¹ u Županji. Kapacitet katjonske izmene (CEC) varira od 0,48 cmol(+)kg⁻¹ u Litiji do 8,92 cmol(+)kg⁻¹ u Mojstrani. Procenat zasićenosti zemljišta bazama je visok, i kreće se od 74,20% u Jasenovcu, do 100% u Litiji.

4.3. Sadržaj ukupnih i DTPA dostupnih frakcija hemijskih elemenata u zemljištu

4.3.1. Ukupni sadržaj hemijskih elemenata u zemljištu

Ukupni sadržaj hemijskih elemenata u uzorcima zemljišta sa ispitivanih lokaliteta predstavljen je u Tabeli 5. Od 14 ispitivanih hemijskih elemenata u zemljištu (Al, As, B, Cd, Cr, Cu, Fe, Li, Mn, Ni, Pb, Se, Sr i Zn), ni u jednom uzorku nije detektovano prisustvo Se, dok je sadržaj Cd na većini lokaliteta bio ispod granice detekcije aparata (<0,000249 mg kg⁻¹).

Sadržaj Al u analiziranim uzorcima zemljišta je varirao u širokom opsegu, od 5183,44 mg kg⁻¹ izmerenih u Mojstrani, do 46951,50 mg kg⁻¹ izmerenih u Beogradu na dubini 0-10 cm. Na dubini 0-30 cm, sadržaj Al je varirao od 6952,77 mg kg⁻¹ u Radovljici, do 26694,22 mg kg⁻¹ u Beogradu, dok se na dubini 30-60 cm, sadržaj ovog elementa kretao u opsegu od 8244,90 mg kg⁻¹ u Radovljici do 26808,45 mg kg⁻¹ u Beogradu (Tabela 5). Sadržaj Al u zemljištima sa ispitivanih lokaliteta se smanjuje sa povećanjem dubine, osim u Sremskoj Mitrovici gde se povećava sa povećanjem dubine. Takođe, moguće je uočiti i trend povećanja sadržaja Al u zemljištima od izvora do ušća reke Save.

Arsen se u ispitivanim zemljištima, na dubini 0-10 cm javljao u opsegu od 3,67 mg kg⁻¹ u Mojstrani, do 21,86 mg kg⁻¹ u Beogradu. Sadržaj ovog elementa u zemljištima dubine 0-30 cm je varirao od 3,13 mg kg⁻¹ u Radovljici, do 18,82 mg kg⁻¹ u Beogradu, dok je na dubini 30-60 cm iznosio od 3,36 mg kg⁻¹ u Jasenovcu, do 25,34 mg kg⁻¹ izmerenih u Beogradu (Tabela 5). Sa povećanjem dubine zemljišta, sadržaj As se povećavao na svim ispitivanim lokalitetima, osim u Jasenovcu gde je njegov sadržaj u zemljištu opadao sa povećanjem dubine. Poput Al, moguće je uočiti trend povećanja sadržaja As u zemljištima od izvora do ušća.

U analiziranim uzorcima zemljišta najniži sadržaj B je izmeren u Mojstrani na dubini od 0-10 cm (33,61 mg kg⁻¹), u Radovljici na dubini 0-30 cm (34,51 mg kg⁻¹) i u Jasenovcu na dubini 30-60 cm (33,97 mg kg⁻¹). Na sve tri analizirane dubine zemljišta, najviši sadržaj B je izmeren u Beogradu, i to 136,27 mg kg⁻¹ na dubini 0-10 cm, 120,49 mg kg⁻¹ na dubini 0-30 cm, i 128,83 mg kg⁻¹ na dubini 30-60 cm (Tabela 5). Nije uočena pravilnost u distribuciji B sa povećanjem dubine zemljišta. Ipak, zapaža se trend povećanja sadržaja B u zemljištima od izvora do ušća reke Save.

Na većini analiziranih lokaliteta nije detektovano prisustvo Cd u zemljištu. Ipak, u donjem delu rečnog toka, na lokalitetima Sremska Mitrovica, Šabac i Beograd, Cd je detektovan u opsegu od 0,12 mg kg⁻¹ u Sremskoj Mitrovici, do 0,72 mg kg⁻¹ u Beogradu na dubini 0-10 cm, odnosno od 0,13 mg kg⁻¹ u Šapcu do 1,98 mg kg⁻¹ u Beogradu na dubini od 30-60 cm. Na dubini 0-30 cm, Cd je detektovan samo u Beogradu (0,98 mg kg⁻¹) (Tabela 5).

Sadržaj Cr u analiziranim zemljištima dubine 0-10 cm je varirao u opsegu od 15,91 mg kg⁻¹ izmerenih u Mojstrani, do 123,88 mg kg⁻¹ izmerenih u Županji. Sadržaj ovog elementa u uzorcima zemljišta dubine 0-30 cm se kretao od 21,09 mg kg⁻¹ u Litiji do 123,01 mg kg⁻¹ u Županji, dok je u sloju dubine 30-60 cm izmereno od 17,92 mg kg⁻¹ u Jasenovcu, do 144,28 mg kg⁻¹ u Sremskoj Mitrovici (Tabela 5). Na većini analiziranih lokaliteta sadržaj Cr u zemljištima se povećavao sa povećanjem dubine, dok je u Radovljici, Čatežu i Jasenovcu sadržaj ovog elementa opadao sa

povećanjem dubine zemljišta. Takođe uočava se trend povećanja sadržaja Cr u zemljištima od izvora do ušća reke Save.

Najniži sadržaji Cu u zemljištu su izmereni u Jasenovcu: u uzorcima zemljišta na dubini 0-10 cm izmereno je $11,43 \text{ mg kg}^{-1}$, u uzorcima sa dubine 0-30 cm izmereno je $11,96 \text{ mg kg}^{-1}$, dok je u uzorcima zemljišta sa dubine 30-60 cm izmereno $8,42 \text{ mg kg}^{-1}$. Najviši sadržaj Cu je izmeren u Čatežu na dubini 0-10 cm ($382,26 \text{ mg kg}^{-1}$) i na dubini 0-30 cm ($134,56 \text{ mg kg}^{-1}$), dok je najviši sadržaj ovog elementa na dubini 30-60 cm izmeren u Beogradu ($67,27 \text{ mg kg}^{-1}$) (Tabela 5). Nije uočena pravilnost u distribuciji Cu sa povećanjem dubine zemljišta. Sadržaj bakra u ispitivanim zemljištima u gornjem i srednjem delu toka je ujednačen, sa izuzetkom Čateža, dok na lokalitetima u donjem delu toka (Županja, Sremska Mitrovica, Šabac i Beograd) dolazi do povećanja njegovog sadržaja u zemljištu.

Ispitivana zemljišta u površinskom sloju (dubina 0-10 cm) sadrže Fe u opsegu od $4588,65 \text{ mg kg}^{-1}$ izmerenih u Mojstrani, do $58940,12 \text{ mg kg}^{-1}$ izmerenih u Beogradu. Na dubini od 0-30 cm, sadržaj Fe u zemljištima se kretao od $8598,72 \text{ mg kg}^{-1}$ u Radovljici do $30100,73 \text{ mg kg}^{-1}$ u Beogradu. Slično, na dubini od 30-60 cm, sadržaj ovog elementa je varirao od $8071,54 \text{ mg kg}^{-1}$ u Jasenovcu, do $33326,52 \text{ mg kg}^{-1}$ u Beogradu (Tabela 5). Na svim lokalitetima sadržaj Fe opada sa porastom dubine zemljišta, osim u Sremskoj Mitrovici gde se sadržaj povećava sa povećanjem dubine. Kao i kod većine elemenata, Fe ima izražen trend povećanja sadržaja u zemljištima od izvora ka ušću reke Save.

U analiziranim uzorcima zemljišta najniži sadržaj Li je izmeren u Mojstrani na dubini od 0-10 cm ($12,42 \text{ mg kg}^{-1}$), i u Radovljici na dubinama 0-30 cm ($19,92 \text{ mg kg}^{-1}$) i 30-60 cm ($27,53 \text{ mg kg}^{-1}$). U sve tri analizirane dubine zemljišta, najviši sadržaj Li je izmeren u Beogradu, i to $97,06 \text{ mg kg}^{-1}$ na dubini 0-10 cm, $93,77 \text{ mg kg}^{-1}$ na dubini 0-30 cm, i $97,58 \text{ mg kg}^{-1}$ na dubini 30-60 cm (Tabela 5). Nije uočena pravilnost u distribuciji Li sa povećanjem dubine zemljišta. Ipak, prisutan je trend povećanja sadržaja Li u zemljištima od izvora ka ušću.

Mangan se u ispitivanim zemljištima na dubini 0-10 cm javljao u opsegu od $188,44 \text{ mg kg}^{-1}$ u Mojstrani, do $992,54 \text{ mg kg}^{-1}$ u Beogradu. Sadržaj ovog elementa u zemljištima dubine 0-30 cm je varirao od $169,19 \text{ mg kg}^{-1}$ u Litiji, do $777,46 \text{ mg kg}^{-1}$ u Beogradu, dok se na dubini 30-60 cm kretao od $137,97 \text{ mg kg}^{-1}$ u Litiji, do $961,04 \text{ mg kg}^{-1}$ u Šapcu (Tabela 5). Poput Li, nije uočena pravilnost u distribuciji Mn sa povećanjem dubine zemljišta, ali postoji trend povećanja njegovog sadržaja u zemljištima od izvora ka ušću.

Sadržaj Ni u zemljištima dubine 0-10 cm je varirao u opsegu od $7,20 \text{ mg kg}^{-1}$ izmerenih u Mojstrani, do $113,37 \text{ mg kg}^{-1}$ izmerenih u Šapcu. Sadržaj ovog elementa u uzorcima zemljišta dubine 0-30 cm se kretao od $12,16 \text{ mg kg}^{-1}$ u Litiji do $109,75 \text{ mg kg}^{-1}$ u Županji, dok je na dubini 30-60 cm izmereno od $9,98 \text{ mg kg}^{-1}$ u Jasenovcu, do $113,90 \text{ mg kg}^{-1}$ u Beogradu (Tabela 5). Takođe, pravilnost u distribuciji Ni sa povećanjem dubine zemljišta nije uočena. Međutim, uočava se ujednačen sadržaj Ni u gornjem i srednjem delu toka, dok se u donjem delu toka, od Županje do Beograda javlja nagli skok sadržaja ovog elementa.

U analiziranim uzorcima zemljišta, najniži sadržaj Pb je izmeren u Zagrebu na dubini od 0-10 cm ($10,74 \text{ mg kg}^{-1}$), u Litiji na dubini 0-30 cm ($11,26 \text{ mg kg}^{-1}$), i u Jasenovcu na dubini 30-60 cm ($11,21 \text{ mg kg}^{-1}$). Najviši sadržaj ovog elementa izmeren je u Beogradu, i to $74,40 \text{ mg kg}^{-1}$ na dubini 0-10 cm, $54,75 \text{ mg kg}^{-1}$ na dubini 0-30 cm, i $87,12 \text{ mg kg}^{-1}$ na dubini 30-60 cm (Tabela 5). Nije uočena pravilnost u distribuciji Pb sa povećanjem dubine zemljišta. Takođe, sadržaj Pb u zemljištu na analiziranim lokalitetima varira, pri čemu je najniži na lokalitetima u srednjem delu rečnog toka (Zagreb, Jasenovac i Slavonski Brod).

Stroncijum je u uzorcima zemljišta dubine 0-10 cm bio u opsegu od $63,23 \text{ mg kg}^{-1}$ u Mojstrani, do $184,36 \text{ mg kg}^{-1}$ u Radovljici. Sadržaj ovog elementa u zemljištima dubine 0-30 cm je varirao u opsegu od $95,11 \text{ mg kg}^{-1}$ u Litiji, do $205,10 \text{ mg kg}^{-1}$ u Zagrebu, dok se na dubini 30-60 cm kretao od $64,85 \text{ mg kg}^{-1}$ u Litiji, do $202,72 \text{ mg kg}^{-1}$ u Zagrebu (Tabela 5). Nije uočena pravilnost u distribuciji Sr sa povećanjem dubine zemljišta, a njegov sadržaj je relativno ujednačen celom dužinom rečnog toka.

Najniži sadržaj Zn u zemljištima je izmeren u Zagrebu na dubinama 0-10 cm ($41,48 \text{ mg kg}^{-1}$) i 0-30 cm ($51,41 \text{ mg kg}^{-1}$), i u Jasenovcu na dubini od 30-60 cm ($44,37 \text{ mg kg}^{-1}$). U sve tri analizirane dubine zemljišta, najviši sadržaj Zn je izmeren u Beogradu, i to $169,80 \text{ mg kg}^{-1}$ na dubini 0-10 cm, $214,26 \text{ mg kg}^{-1}$ na dubini 0-30 cm, i $357,83 \text{ mg kg}^{-1}$ na dubini 30-60 cm (Tabela 5). Sa povećanjem dubine zemljišta, sadržaj Zn se povećava na svim lokalitetima, osim u Jasenovcu i Županji, gde se njegov sadržaj smanjuje sa povećanjem dubine. U pogledu prostorne distribucije Zn uočava se naglo smanjenje njegovog sadržaja u zemljištima na lokalitetima u srednjem delu rečnog toka (Zagreb, Jasenovac i Slavonski Brod) (Tabela 5).

Tabela 5. Ukupni sadržaj potencijalno toksičnih elemenata u zemljištu prikazan kao srednja vrednost i standardna devijacija u zagradi; vrednosti su izražene u mg kg⁻¹

Lokalitet	Dubina (cm)	Al	As	B	Cd	Cr	Cu	Fe	Li	Mn	Ni	Pb	Sr	Zn
MOJ	0-10	5183,44 (349,49)	3,67 (0,46)	33,61 (1,14)	<LoQ	15,91 (1,07)	14,65 (0,43)	4588,65 (266,30)	12,42 (0,89)	188,44 (4,82)	7,20 (0,42)	60,12 (4,23)	63,23 (4,23)	105,67 (1,61)
RAD	0-10	14335,14 (152,72)	4,60 (0,35)	43,35 (0,42)	<LoQ	29,66 (0,58)	21,10 (0,08)	14702,37 (115,08)	27,92 (0,41)	297,66 (0,85)	20,71 (0,10)	25,18 (0,62)	184,36 (1,24)	58,32 (0,54)
	0-30	6952,77 (234,08)	3,13 (0,85)	34,51 (0,35)	<LoQ	21,87 (0,70)	16,27 (0,49)	8598,72 (225,72)	19,92 (1,29)	242,48 (1,30)	15,45 (0,44)	24,72 (1,31)	105,01 (6,53)	59,89 (0,97)
	30-60	8244,90 (76,45)	5,05 (0,57)	41,65 (0,22)	<LoQ	19,54 (0,15)	18,82 (0,19)	9939,21 (56,89)	27,53 (0,36)	244,17 (3,59)	12,44 (0,12)	49,85 (0,68)	196,41 (3,43)	200,00 (1,48)
LIT	0-10	21045,52 (133,38)	4,84 (0,25)	53,21 (0,41)	<LoQ	19,52 (0,17)	12,67 (0,07)	16530,53 (93,83)	45,72 (0,38)	232,35 (0,52)	11,86 (0,11)	24,19 (0,49)	67,37 (0,33)	47,55 (1,72)
	0-30	16018,18 (101,95)	5,39 (0,26)	52,62 (0,19)	<LoQ	21,09 (0,06)	16,46 (0,15)	11833,37 (36,46)	49,10 (0,34)	169,19 (0,79)	12,16 (0,00)	11,26 (0,74)	95,11 (43,45)	56,87 (0,29)
	30-60	15151,85 (1339,39)	5,42 (0,36)	51,49 (1,30)	<LoQ	19,67 (1,07)	14,64 (0,84)	12088,33 (89,08)	46,60 (1,69)	137,97 (4,40)	10,95 (0,55)	23,87 (13,16)	64,85 (0,64)	55,85 (0,86)
VRH	0-10	31533,40 (247,58)	4,45 (0,30)	72,53 (0,33)	<LoQ	26,76 (0,19)	20,14 (0,34)	27191,33 (129,80)	55,49 (0,18)	351,54 (0,96)	16,03 (0,05)	20,07 (1,08)	164,07 (0,80)	67,77 (0,80)
	0-30	19094,15 (43,91)	8,14 (2,54)	66,03 (0,23)	<LoQ	26,82 (0,16)	21,01 (0,13)	15507,83 (99,42)	54,72 (0,21)	321,96 (2,68)	15,64 (0,06)	11,33 (1,73)	165,34 (2,22)	72,43 (0,27)
ČAT	0-10	31739,41 (160,44)	7,30 (0,42)	74,54 (0,47)	<LoQ	31,63 (0,19)	382,26 (3,90)	26961,62 (156,01)	55,20 (0,52)	366,70 (3,03)	18,20 (0,12)	27,34 (0,78)	179,79 (1,10)	97,30 (0,45)
	0-30	22135,84 (131,38)	8,24 (0,24)	75,32 (0,70)	<LoQ	35,69 (0,21)	134,56 (0,84)	17212,16 (170,33)	63,95 (0,56)	426,82 (1,34)	20,19 (0,06)	29,19 (2,30)	182,13 (2,15)	99,12 (0,47)
	30-60	25771,49 (95,40)	8,77 (0,79)	88,30 (0,38)	<LoQ	53,18 (0,60)	44,58 (3,97)	20347,24 (298,13)	76,27 (0,99)	474,24 (5,45)	25,39 (0,22)	34,36 (0,89)	183,40 (3,51)	143,97 (0,70)
ZAG	0-10	17317,23 (101,23)	4,96 (0,32)	45,05 (0,34)	<LoQ	16,08 (0,12)	11,43 (0,09)	15063,48 (48,18)	32,73 (0,13)	273,55 (0,60)	10,04 (0,08)	10,74 (0,23)	176,52 (0,82)	41,48 (0,33)

	0-30	15159,43 (76,90)	5,02 (0,63)	50,55 (0,77)	<LoQ	22,82 (0,12)	16,12 (0,05)	11250,61 (19,24)	43,36 (0,17)	318,08 (0,43)	12,22 (0,06)	16,00 (0,52)	205,10 (1,28)	51,41 (0,00)
	30-60	17620,03 (1798,23)	6,31 (0,39)	60,35 (1,96)	<LoQ	27,42 (1,54)	22,92 (0,86)	13727,34 (161,52)	51,91 (2,48)	368,48 (1,86)	16,45 (0,14)	20,51 (11,47)	202,72 (2,67)	70,76 (0,50)
JAS	0-10	19940,06 (643,82)	4,37 (0,30)	45,93 (0,55)	<LoQ	23,72 (0,26)	12,19 (0,16)	15194,19 (296,27)	34,89 (1,12)	326,82 (2,15)	13,70 (0,26)	12,53 (1,38)	152,91 (0,79)	50,92 (0,42)
	0-30	13481,49 (71,40)	4,73 (0,05)	43,68 (0,10)	<LoQ	23,45 (0,06)	11,96 (0,09)	10250,11 (77,25)	37,35 (0,30)	324,95 (1,57)	13,23 (0,00)	19,26 (0,26)	166,45 (1,27)	52,47 (0,14)
	30-60	10008,41 (97,08)	3,36 (0,72)	33,97 (0,30)	<LoQ	17,92 (0,43)	8,42 (0,36)	8071,54 (32,98)	29,21 (0,20)	260,18 (1,55)	9,98 (0,17)	11,21 (2,08)	164,89 (1,18)	44,37 (0,43)
SLB	0-10	26822,95 (455,82)	7,21 (0,21)	69,17 (0,30)	<LoQ	43,67 (0,40)	15,62 (0,11)	25120,61 (208,88)	44,02 (0,67)	619,97 (6,14)	29,86 (0,54)	13,06 (1,15)	161,07 (0,92)	46,27 (0,31)
	0-30	19644,43 (34,34)	6,88 (0,21)	65,43 (0,48)	<LoQ	51,43 (0,06)	20,87 (0,09)	16421,36 (13,14)	52,09 (0,08)	585,43 (0,95)	32,97 (0,10)	20,06 (1,22)	180,76 (1,92)	57,20 (0,29)
	30-60	23183,31 (276,15)	10,34 (2,61)	77,83 (1,30)	<LoQ	60,34 (1,27)	28,37 (0,24)	19722,92 (175,61)	63,66 (0,81)	706,72 (6,67)	39,38 (0,33)	18,14 (2,11)	184,49 (1,78)	76,08 (0,82)
ŽUP	0-10	40357,36 (1062,94)	8,89 (0,26)	89,54 (1,20)	<LoQ	123,88 (0,69)	30,28 (0,14)	38465,08 (400,05)	60,01 (0,68)	732,45 (6,41)	101,07 (1,28)	25,60 (0,89)	163,31 (3,06)	87,70 (0,30)
	0-30	23428,52 (214,29)	11,58 (0,27)	89,61 (0,28)	<LoQ	123,01 (0,70)	36,18 (0,00)	22912,63 (223,14)	60,23 (0,81)	771,21 (7,18)	109,75 (0,15)	25,52 (0,87)	158,62 (0,47)	96,93 (0,33)
	30-60	26299,61 (41,70)	13,82 (0,29)	105,37 (1,83)	<LoQ	123,13 (4,99)	39,21 (0,21)	27079,95 (270,51)	80,92 (1,71)	848,39 (4,30)	109,94 (0,75)	24,44 (0,53)	158,76 (2,19)	71,27 (0,52)
SRM	0-10	23573,24 (255,31)	13,93 (0,21)	106,39 (1,26)	0,12 (0,00)	99,46 (1,54)	32,77 (0,27)	21769,59 (180,85)	64,34 (1,09)	712,61 (8,79)	81,17 (0,21)	30,46 (0,71)	84,61 (0,37)	114,47 (0,73)
	0-30	26110,22 (46,84)	15,47 (3,15)	100,77 (0,39)	<LoQ	114,63 (0,49)	37,95 (0,23)	25686,07 (223,35)	76,14 (1,02)	621,35 (4,79)	95,34 (1,87)	41,96 (0,67)	166,59 (0,95)	144,94 (0,42)
	30-60	26250,84 (34,42)	20,03 (0,58)	110,97 (0,62)	0,28 (0,05)	144,28 (1,39)	52,24 (0,28)	28162,73 (113,35)	83,93 (0,73)	708,15 (4,16)	92,96 (0,71)	84,54 (2,25)	186,20 (1,89)	345,86 (2,03)

ŠAB	0-10	46415,67 (342,59)	16,54 (0,29)	126,66 (1,32)	0,14 (0,00)	123,38 (2,25)	42,55 (0,14)	52290,88 (1305,67)	83,84 (0,90)	969,70 (14,33)	113,37 (1,25)	44,07 (0,58)	162,73 (1,78)	159,03 (2,00)
	0-30	25717,15 (127,77)	14,99 (0,27)	99,29 (0,74)	<LoQ	105,26 (0,33)	37,68 (0,13)	24803,72 (271,27)	72,21 (0,69)	773,98 (6,39)	94,00 (2,17)	37,21 (1,70)	158,52 (0,71)	141,05 (0,38)
	30-60	26383,77 (17,52)	19,00 (0,43)	115,76 (1,19)	0,13 (0,00)	121,66 (0,96)	47,48 (0,35)	29600,04 (235,54)	85,74 (0,92)	961,04 (13,08)	107,81 (0,57)	49,78 (2,64)	166,88 (1,71)	166,88 (1,71)
BEO	0-10	46951,50 (20,65)	21,86 (0,30)	136,27 (1,39)	0,72 (0,00)	119,22 (2,04)	58,52 (0,18)	58940,12 (485,05)	97,06 (0,47)	992,54 (8,47)	106,16 (0,40)	74,40 (1,11)	169,80 (1,37)	169,80 (1,37)
	0-30	26694,22 (54,20)	18,82 (0,79)	120,49 (1,30)	0,98 (0,07)	116,74 (2,44)	73,62 (0,69)	30100,73 (601,26)	93,77 (2,17)	777,46 (12,99)	103,15 (1,69)	56,75 (1,36)	163,84 (3,74)	214,26 (1,93)
	30-60	26808,45 (17,57)	25,34 (0,79)	128,83 (2,31)	1,98 (0,07)	138,51 (1,30)	67,27 (1,12)	33326,52 (432,88)	97,58 (0,48)	909,94 (11,82)	113,90 (1,67)	87,12 (3,38)	164,93 (2,43)	357,83 (6,61)
Srednja vrednost za ceo tok		22587,09	9,77	76,03	0,62	62,47	43,05	21620,05	56,96	515,65	48,26	32,27	156,08	109,87
Prirodni fon istraživanog područja^a		-	11,53	-	0,68	72,52	24,12	-	-	772,97	41,33	44,03	-	91,64
Prirodni fon za evropska zemljišta^b		-	-	-	1-3	50-100	50-140	-	-	-	30-75	50-300	-	150-300
Prosek za svetska zemljišta^c			4,4-8,4	10-100	0,37-0,45	47-51	13-23		13-28	411-550	13-26	22-28	87-210	45-60
Kritičan opseg za biljke^d			20-50		>2,5	75-100	60-125				>100	>100		70-400

Marković et al. 2018^a; Gawlik & Bidoglio 2006^b; Kabata-Pendias & Mukherjee 2007^c; Alloway 2013^d

<LoQ – ispod nivoa detekcije

4.3.2. Sadržaj DTPA dostupnih frakcija hemijskih elemenata u zemljištu

Sadržaj DTPA dostupnih frakcija hemijskih elemenata u uzorcima zemljišta sa ispitivanih lokaliteta predstavljen je u Tabeli 6, dok su rezultati AR indeksa, koji predstavljaju meru dostupnosti elemenata biljkama prikazani u Tabeli 7. Od svih ispitivanih hemijskih elemenata (Al, As, B, Cd, Cr, Cu, Fe, Li, Mn, Ni, Pb, Se, Sr i Zn), ni u jednom ispitivanom uzorku zemljišta nije detektovano prisustvo dostupnih frakcija Cr i Se, dok je sadržaj dostupne frakcije Cd na većini lokaliteta bio ispod nivoa detekcije aparata.

Sadržaj dostupnog Al u analiziranim uzorcima zemljišta dubine 0-10 cm je varirao u uskom opsegu od 0,14 mg kg⁻¹ izmerenih u Radovljici, do 0,50 mg kg izmerenih u Mojstrani i Vrhovu. Na dubini od 0-30 cm, sadržaj ovog elementa se kretao od 0,17 mg kg⁻¹ u Beogradu, do 0,55 mg kg⁻¹ u Zagrebu, dok su vrednosti na dubini 30-60 cm varirale od 0,27 mg kg⁻¹ u Slavonskom Brodu do 0,51 mg kg⁻¹ u Čatežu (Tabela 6). Nije uočena pravilnost u distribuciji dostupnog Al sa povećanjem dubine zemljišta. Ipak, uočava se smanjenje DTPA sadržaja dostupne frakcije Al u zemljištima od izvora do ušća reke Save. U odnosu na AR indeks, dostupan sadržaj Al je bio veoma nizak i kretao se u uskom opsegu od 0,001% do 0,01% od ukupne količine Al u zemljištu (Tabela 7).

DTPA dostupni As je u ispitivanim zemljištima dubine 0-10 cm bio ispod nivoa detekcije na lokalitetu u Zagrebu, dok je najviši sadržaj izmeren u Županji (0,06 mg kg⁻¹). Na dubini 0-30 cm, dostupni As je bio ispod nivoa detekcije u Radovljici, Litiji i Vrhovu, dok je najviši sadržaj ovog elementa izmeren u Županji (0,03 mg kg⁻¹). Na dubini 30-60 cm, DTPA dostupni As detektovan je samo u Beogradu (0,03 mg kg⁻¹) (Tabela 6). Uočava se da sa povećanjem dubine zemljišta, sadržaj dostupnog As opada na svim ispitivanim lokalitetima. Iako su izmerene koncentracije veoma niske, moguće je uočiti blagi trend povećanja sadržaja DTPA dostupne frakcije As u zemljištima od izvora do ušća. AR indeks pokazuje da je udeo dostupne frakcije As u zemljištu iznosio manje od 1% od njegove ukupne količine (0,00-0,92%) (Tabela 7).

U analiziranim uzorcima zemljišta dubine 0-10 cm, sadržaj DTPA dostupne frakcije B je varirao od vrednosti ispod nivoa detekcija aparata u Radovljici, do 0,26 mg kg⁻¹ izmerenih u Šapcu. Frakcija dostupnog B je u uzorcima zemljišta dubine 0-30 cm varirala od 0,06 mg kg⁻¹ u Litiji, do 0,21 mg kg⁻¹ u Šapcu, a u uzorcima dubine 30-60 cm izmerene vrednosti su se kretale od 0,10 mg kg⁻¹ u Litiji do 0,34 mg kg⁻¹ u Sremskoj Mitrovici (Tabela 6). Kao i u slučaju ukupnog sadržaja, nije uočena pravilnost u njegovoj distribuciji sa povećanjem dubine zemljišta. Ipak, prisutan je blagi trend povećanja sadržaja dostupne frakcije ovog elementa u zemljištima od izvora do ušća reke Save. AR indeks pokazuje da je udeo dostupne frakcije B u zemljištu iznosio manje od 1% od njegove ukupne količine (0,11-0,60%) (Tabela 7).

Na analiziranim lokalitetima, izuzev Beograda, dostupne frakcije Cd u zemljištu nisu detektovane. Na lokalitetu Beograd, Cd je detektovan u opsegu od 0,35 mg kg⁻¹ u površinskom sloju 0-10 cm, do maksimalno izmerenih 0,90 mg kg⁻¹ u zemljištu dubine 30-60 cm (Tabela 6). U odnosu na AR indeks, udeo dostupne frakcije Cd u zemljištu na lokalitetu Beogradu se kretao između 43,88% i 48,61% od njegove ukupne količine u zemljištu (Tabela 7).

Sadržaj DTPA dostupne frakcije Cu u analiziranim zemljištima dubine 0-10 cm varirao je u širokom opsegu od 1,32 mg kg⁻¹ izmerenih u Zagrebu do 82,31 mg kg⁻¹ izmerenih u Čatežu. Slično, na dubini 0-30 cm, sadržaj dostupnih formi Cu se kretao od 1,99 mg kg⁻¹ u Jasenovcu, do 30,29 mg kg⁻¹ u Čatežu. DTPA dostupni sadržaj ovog elementa na dubini 30-60 cm je varirao od 1,72 mg kg⁻¹ u Jasenovcu, do 18,39 mg kg⁻¹ u Beogradu (Tabela 6). Nije uočena pravilnost u distribuciji dostupnog Cu sa povećanjem dubine zemljišta. Sadržaj DTPA dostupne frakcije ovog elementa u ispitivanim zemljištima u gornjem i srednjem delu toka je ujednačen, sa izuzetkom lokaliteta Čatež, dok na lokalitetima u donjem delu toka (Sremska Mitrovica, Šabac i Beograd) dolazi do povećanja dostupnosti Cu u zemljištu. AR indeks je varirao od 11,53% u Županji, do maksimalnih 48,25% u Radovljici. Ipak, AR indeks ukazuje na relativno ujednačenu dostupnost Cu u zemljištu na ispitivanim lokalitetima (oko 20%; Tabela 7).

Ispitivana zemljišta dubine 0-10 cm sadrže Fe u DTPA dostupnoj frakciji u opsegu od 23,19 mg kg⁻¹ izmerenih u Zagrebu, do 85,28 mg kg⁻¹ izmerenih u Čatežu. Dostupan sadržaj ovog

elementa u zemljištima dubine 0-30 cm se kretao od 21,66 mg kg⁻¹ u Zagrebu, do 60,29 mg kg⁻¹ u Beogradu, dok su vrednosti izmerene u uzorcima dubine 30-60 cm varirale od 28,09 mg kg⁻¹ u Litiji, do 83,44 mg kg⁻¹ u Slavonskom Brodu (Tabela 6). Iako se ne uočava pravilnost u sadržaju dostupnog Fe sa povećanjem dubine zemljišta, postoji trend povećanja njegovog sadržaja u zemljištima od izvora ka ušću reke Save. Ipak, vrednosti AR indeksa pokazuju da je dostupna frakcija ispod 1% od ukupne količine Fe u zemljištu (AR od 0,12% do 0,70%; Tabela 7).

Sadržaj DTPA frakcije Li u analiziranim uzorcima zemljišta dubine 0-10 cm se kretao u uskom opsegu od 0,01 mg kg⁻¹ izmerenih u Litiji, Vrhovu, Čatežu, Zagrebu, Jasenovcu i Slavonskom Brodu, do 0,20 mg kg⁻¹ izmerenih u Mojstrani. Nešto viši sadržaji dostupnog Li su izmereni u uzorcima zemljišta dubine 0-30 cm, i kretali su se od 0,15 mg kg⁻¹ u Litiji, do 0,44 mg kg⁻¹ u Beogradu. Na dubini 30-60 cm, DTPA frakcija Li je varirala od 0,01 mg kg⁻¹ u Litiji, do 0,07 mg kg⁻¹ u Radovljici, Sremskoj Mitrovici i Beogradu (Tabela 6). Nije uočena pravilnost u distribuciji Li sa povećanjem dubine zemljišta, kao ni pravilnost u dostupnosti ovog elementa u zemljištima od izvora ka ušću. Prema AR indeksu, dostupni Li u zemljištu se kretao od 0,02% do 1,61% od njegove ukupne količine (Tabela 7).

DTPA dostupan Mn se u zemljištima sa istraživanih lokaliteta na dubini 0-10 cm kretao u uskom opsegu od 0,22 mg kg⁻¹ izmerenih u Zagrebu, do 1,42 mg kg⁻¹ izmerenih u Radovljici i Županji. Na dubini 0-30 cm, DTPA frakcija Mn se kretala u opsegu od 0,25 mg kg⁻¹ u Jasenovcu, do 1,39 mg kg⁻¹ koliko je izmereno u Županji i Beogradu, dok je na dubini 30-60 cm dostupni sadržaj ovog elementa varirao od 0,10 mg kg⁻¹ u Litiji do 1,73 mg kg⁻¹ u Šapcu (Tabela 6). Pravilnost u distribuciji dostupnog Mn sa povećanjem dubine zemljišta nije uočena. Sa druge strane, uočava se trend porasta sadržaja dostupnog Mn od izvora do ušća. Izuzetak čini Radovljica, koja ima sličan dostupan sadržaj Mn u zemljištu kao i lokaliteti donjeg toka. Prema AR indeksu, količina dostupnog Mn je varirala u opsegu od 0,77% do 11,81% njegove ukupne količine u zemljištu (Tabela 7).

Dostupan sadržaj Ni u zemljištima na dubini 0-10 cm je varirao u opsegu od 9,44 mg kg⁻¹ izmerenih u Čatežu, do 30,25 mg kg⁻¹ izmerenih u Šapcu. Na dubini 0-30 cm, DTPA frakcija Ni se kretala u opsegu od 3,45 mg kg⁻¹ u Litiji, do 30,90 mg kg⁻¹ u Šapcu, dok je na dubini 30-60 cm dostupni sadržaj ovog elementa varirao od 1,06 mg kg⁻¹ u Litiji do 83,44 mg kg⁻¹ u Slavonskom Brodu (Tabela 6). DTPA dostupna frakcija Ni pokazala je trend smanjenja sa povećanjem dubine zemljišta na svim ispitivanim lokalitetima, osim u Radovljici, Vrhovu i Slavonskom Brodu, dok se uočava porast dostupne frakcije Ni od izvora ka ušću. U odnosu na AR indeks, Ni je dostupan u vrednostima oko 1% od njegovog ukupnog sadržaja u donjem delu rečnog toka, dok je najviša vrednost ovog indeksa od 8,92% izračunata za zemljište u Radovljici (Tabela 7).

U analiziranim uzorcima zemljišta dubine 0-10 cm, sadržaj DTPA dostupnog Pb je varirao od 1,21 mg kg⁻¹ izmerenih u Zagrebu, do 7,68 mg kg⁻¹ izmerenih u Beogradu. Slično, na dubini 0-30 cm, dostupna frakcija Pb se kretala u opsegu od 1,24 mg kg⁻¹ u Jasenovcu, do 6,77 mg kg⁻¹ u Beogradu. U zemljištu dubine 30-60 cm, DTPA sadržaj ovog elementa je varirao od 1,11 mg kg⁻¹ u Jasenovcu, do 19,34 mg kg⁻¹ u Radovljici (Tabela 6). Nije uočena pravilnost u distribuciji dostupnog Pb sa povećanjem dubine zemljišta. Sadržaj dostupnog Pb na istraživanim lokalitetima je relativno ujednačen, sa izuzetkom lokaliteta Radovljica, i lokaliteta u donjem delu toka (Županja, Sremska Mitrovica, Šabac i Beograd) koji imaju nešto viši sadržaj dostupnog Pb. Prema AR indeksu, količina dostupnog Pb je varirala u opsegu od 5,79% do 38,80% od njegove ukupne količine u zemljištu (Tabela 7).

Najniže vrednosti DTPA dostupne frakcije Sr su izmerene na lokalitetu Litija na sve tri analizirane dubine zemljišta, i to 0,68 mg kg⁻¹ na dubini 0-10 cm, 0,91 mg kg⁻¹ na dubini 0-30 cm, i 0,56 mg kg⁻¹ na dubini od 30-60 cm. Najviši sadržaji dostupnog Sr u zemljištu su izmereni u Beogradu, i to 5,20 mg kg⁻¹ na dubini od 0-10 cm, 4,43 mg kg⁻¹ na dubini 0-30 cm, i 5,10 mg kg⁻¹ na dubini 30-60 cm (Tabela 6). Nije uočena pravilnost u distribuciji dostupnog Sr sa povećanjem dubine zemljišta, ali se njegov sadržaj povećava od izvora ka ušću. AR indeks pokazuje da je količina dostupnog Sr varirala od 0,58% do 5,42% od njegove ukupne količine u zemljištu (Tabela 7).

Sadržaj DTPA dostupnog Zn u zemljištima dubine 0-10 cm je varirao u opsegu od 1,92 mg kg⁻¹ u Mojstrani, do 12,62 mg kg⁻¹ u Beogradu. Slično, na dubini 0-30 cm dostupni Zn se kretao od 1,68 mg kg⁻¹ u Litiji, do 11,95 mg kg⁻¹ u Beogradu. DTPA frakcija Zn u uzorcima zemljišta dubine 30-60 cm je varirala od 0,74 mg kg⁻¹ u Županji, do 33,63 mg kg⁻¹ u Radovljici (Tabela 6). Sa povećanjem dubine zemljišta sadržaj dostupnog Zn raste na svim lokalitetima, osim u Litiji, Jasenovcu i Županji, gde se njegov sadržaj smanjuje sa dubinom. U odnosu na AR indeks, dostupan Zn je varirao od 1,04% do 16,82% od njegove ukupne količine u zemljištu (Tabela 7). Dostupan sadržaj Zn na istraživanim lokalitetima je relativno ujednačen, sa izuzetkom lokaliteta Radovljica, i lokaliteta u donjem delu toka (Sremska Mitrovica, Šabac i Beograd) koji imaju viši sadržaj dostupnog Zn.

Tabela 6. Sadržaj DTPA dostupnih frakcija hemijskih elemenata u zemljištu prikazane kao srednja vrednost i standardna devijacija u zagradi; vrednosti su izražene u mg kg⁻¹

Lokalitet i dubina zemljišta (cm)	Al	As	B	Cd	Cu	Fe	Li	Mn	Ni	Pb	Sr	Zn	
MOJ 0-10	0,50 (0,06)	0,03 (0,00)	0,11 (0,00)	<LoQ	5,17 (0,32)	25,20 (0,19)	0,20 (0,02)	0,56 (0,00)	18,55 (0,35)	3,48 (0,10)	1,20 (0,04)	1,92 (0,14)	
RAD	0-10	0,14 (0,02)	0,01 (0,00)	<LoQ	<LoQ	5,10 (0,06)	39,46 (0,23)	0,02 (0,00)	1,42 (0,04)	10,36 (0,37)	4,33 (0,02)	1,25 (0,01)	3,94 (0,02)
	0-30	0,40 (0,08)	<LoQ	0,12 (0,01)	<LoQ	5,08 (0,21)	35,00 (1,58)	0,26 (0,01)	1,03 (0,05)	7,32 (0,38)	4,66 (0,11)	1,41 (0,04)	4,25 (0,11)
	30-60	0,44 (0,06)	<LoQ	0,25 (0,00)	<LoQ	9,08 (0,31)	55,67 (0,98)	0,07 (0,00)	1,11 (0,04)	11,52 (0,15)	19,34 (0,67)	1,14 (0,02)	33,63 (0,90)
LIT	0-10	0,15 (0,01)	0,02 (0,00)	0,10 (0,00)	<LoQ	2,17 (0,02)	25,15 (0,22)	0,01 (0,00)	0,30 (0,00)	10,13 (0,23)	3,46 (0,13)	0,68 (0,03)	2,58 (0,02)
	0-30	0,42 (0,04)	<LoQ	0,06 (0,00)	<LoQ	2,35 (0,09)	21,78 (0,47)	0,15 (0,01)	0,26 (0,02)	3,45 (0,12)	2,93 (0,33)	0,91 (0,03)	1,68 (0,04)
	30-60	0,40 (0,08)	<LoQ	0,10 (0,00)	<LoQ	1,79 (0,02)	28,09 (0,21)	0,01 (0,00)	0,10 (0,00)	1,06 (0,01)	3,05 (0,04)	0,56 (0,02)	1,80 (0,03)
VRH	0-10	0,50 (0,03)	0,02 (0,00)	0,19 (0,00)	<LoQ	3,40 (0,07)	61,81 (0,51)	0,01 (0,00)	0,54 (0,01)	14,40 (0,31)	3,03 (0,02)	1,53 (0,00)	3,56 (0,02)
	0-30	0,47 (0,07)	<LoQ	0,14 (0,00)	<LoQ	3,40 (0,05)	41,66 (1,37)	0,25 (0,01)	0,48 (0,01)	14,77 (0,53)	2,76 (0,04)	2,32 (0,03)	2,78 (0,07)
ČAT	0-10	0,38 (0,01)	0,02 (0,00)	0,24 (0,00)	<LoQ	82,31 (0,81)	85,28 (1,11)	0,01 (0,00)	0,61 (0,01)	9,44 (0,12)	5,62 (0,34)	1,68 (0,00)	7,83 (0,03)
	0-30	0,29 (0,07)	0,01 (0,01)	0,19 (0,01)	<LoQ	30,29 (1,67)	50,45 (1,71)	0,33 (0,03)	0,51 (0,01)	8,35 (0,44)	4,02 (1,80)	2,67 (0,10)	5,74 (0,13)
	30-60	0,51 (0,06)	<LoQ	0,28 (0,00)	<LoQ	9,01 (0,17)	80,42 (0,68)	0,02 (0,00)	0,65 (0,00)	7,31 (0,07)	2,51 (0,00)	4,14 (0,04)	10,33 (0,07)
ZAG	0-10	0,34 (0,02)	<LoQ	0,12 (0,00)	<LoQ	1,32 (0,01)	23,19 (0,21)	0,01 (0,00)	0,22 (0,00)	10,31 (0,07)	1,21 (0,02)	1,17 (0,02)	2,42 (0,05)
	0-30	0,55 (0,04)	0,01 (0,01)	0,12 (0,01)	<LoQ	2,32 (0,16)	21,66 (0,83)	0,17 (0,01)	0,32 (0,01)	3,95 (0,36)	1,77 (0,14)	1,89 (0,04)	3,25 (0,10)
	30-60	0,38 (0,06)	<LoQ	0,17 (0,00)	<LoQ	3,04 (0,10)	44,80 (0,93)	0,02 (0,00)	0,33 (0,01)	9,25 (0,19)	1,68 (0,03)	3,67 (0,06)	3,67 (0,06)

Lokalitet i dubina zemljišta (cm)		Al	As	B	Cd	Cu	Fe	Li	Mn	Ni	Pb	Sr	Zn
JAS	0-10	0,30 (0,01)	0,04 (0,00)	0,24 (0,00)	<LoQ	2,21 (0,01)	63,78 (1,04)	0,01 (0,00)	0,27 (0,01)	11,03 (0,13)	1,38 (0,01)	1,04 (0,02)	4,18 (0,02)
	0-30	0,41 (0,27)	0,02 (0,01)	0,17 (0,01)	<LoQ	1,99 (0,04)	51,66 (1,29)	0,33 (0,03)	0,25 (0,01)	10,55 (0,35)	1,24 (0,03)	1,61 (0,02)	3,25 (0,10)
	30-60	0,36 (0,07)	<LoQ	0,19 (0,07)	<LoQ	1,72 (0,17)	56,50 (4,21)	0,02 (0,00)	0,27 (0,04)	9,52 (0,41)	1,11 (0,04)	0,99 (0,03)	3,46 (0,14)
SLB	0-10	0,27 (0,01)	0,04 (0,00)	0,23 (0,00)	<LoQ	3,25 (0,01)	64,09 (0,15)	0,01 (0,00)	0,41 (0,00)	19,45 (0,14)	1,28 (0,01)	1,75 (0,02)	1,97 (0,01)
	0-30	0,21 (0,07)	0,01 (0,01)	0,18 (0,00)	<LoQ	3,15 (0,09)	57,40 (3,50)	0,36 (0,02)	0,47 (0,02)	18,81 (1,50)	1,27 (0,03)	2,79 (0,16)	2,14 (0,04)
	30-60	0,27 (0,09)	<LoQ	0,25 (0,00)	<LoQ	9,67 (1,90)	83,44 (0,81)	0,03 (0,00)	0,51 (0,01)	83,44 (0,81)	1,60 (0,04)	3,91 (0,03)	3,78 (0,05)
ŽUP	0-10	0,33 (0,01)	0,06 (0,00)	0,25 (0,00)	<LoQ	5,46 (0,04)	71,47 (0,51)	0,02 (0,00)	1,42 (0,00)	22,10 (0,14)	2,78 (0,01)	3,67 (0,03)	5,11 (0,03)
	0-30	0,24 (0,03)	0,03 (0,01)	0,20 (0,00)	<LoQ	5,34 (0,09)	59,39 (1,04)	0,38 (0,02)	1,39 (0,03)	21,77 (0,38)	2,66 (0,04)	3,11 (0,06)	3,98 (0,06)
	30-60	0,30 (0,10)	<LoQ	0,21 (0,00)	<LoQ	4,52 (0,26)	36,16 (0,25)	0,04 (0,00)	0,83 (0,01)	9,89 (0,15)	1,68 (0,01)	4,47 (0,04)	0,74 (0,00)
SRM	0-10	0,40 (0,02)	0,05 (0,00)	0,25 (0,00)	<LoQ	4,45 (0,12)	64,31 (0,98)	0,10 (0,00)	1,04 (0,23)	22,37 (0,32)	4,40 (0,02)	4,59 (0,07)	6,36 (0,13)
	0-30	0,24 (0,03)	0,01 (0,01)	0,20 (0,00)	<LoQ	5,34 (0,12)	57,17 (0,96)	0,41 (0,02)	1,22 (0,02)	19,61 (0,35)	5,59 (0,09)	4,06 (0,05)	6,17 (0,08)
	30-60	0,31 (0,02)	<LoQ	0,34 (0,01)	<LoQ	10,99 (0,17)	68,75 (1,30)	0,07 (0,00)	1,13 (0,02)	18,40 (0,40)	15,65 (0,47)	4,53 (0,09)	16,86 (0,55)
ŠAB	0-10	0,30 (0,01)	0,05 (0,00)	0,26 (0,00)	<LoQ	6,29 (0,20)	64,31 (0,38)	0,03 (0,00)	1,28 (0,00)	30,25 (0,18)	5,20 (0,01)	4,92 (0,05)	7,70 (0,06)
	0-30	0,19 (0,05)	0,01 (0,01)	0,21 (0,00)	<LoQ	6,77 (0,07)	57,88 (0,43)	0,41 (0,02)	1,22 (0,01)	30,90 (0,20)	4,85 (0,10)	4,03 (0,06)	7,90 (0,09)
	30-60	0,35 (0,07)	<LoQ	0,31 (0,00)	<LoQ	7,22 (0,05)	77,34 (0,54)	0,06 (0,00)	1,73 (0,01)	29,13 (0,24)	6,57 (0,01)	4,68 (0,04)	11,67 (0,08)
BEO	0-10	0,33 (0,01)	0,03 (0,01)	0,25 (0,00)	0,35 (0,00)	9,90 (0,08)	78,72 (0,83)	0,02 (0,00)	1,37 (0,01)	27,96 (0,40)	7,68 (0,06)	5,20 (0,02)	12,62 (0,09)
	0-30	0,17 (0,03)	0,01 (0,01)	0,18 (0,01)	0,43 (0,01)	12,39 (0,46)	60,29 (3,10)	0,44 (0,01)	1,39 (0,04)	24,80 (1,27)	6,77 (0,12)	4,43 (0,04)	11,95 (0,22)
	30-60	0,29 (0,06)	0,03 (0,01)	0,23 (0,00)	0,92 (0,01)	18,39 (0,38)	67,77 (1,14)	0,07 (0,00)	1,36 (0,03)	21,90 (0,11)	11,60 (0,14)	5,10 (0,08)	25,84 (0,20)

<LoQ – ispod nivoa detekcije

Tabela 7. Indeks dostupnosti (AR indeks) (vrednosti su izražene u %)

Lokalitet	Dubina (cm)	Al	As	B	Cd	Cu	Fe	Li	Mn	Ni	Pb	Sr	Zn
MOJ	0-10	0,010	0,82	0,33	/	35,29	0,55	1,61	9,84	7,78	5,79	1,90	1,82
RAD	0-10	0,001	0,22	/	/	24,17	0,27	0,07	3,48	6,86	17,20	0,68	6,76
	0-30	0,006	/	0,35	/	31,22	0,41	1,31	3,02	6,67	18,85	1,34	7,10
	30-60	0,005	/	0,60	/	48,25	0,56	0,25	4,72	8,92	38,80	0,58	16,82
LIT	0-10	0,001	0,41	0,19	/	17,13	0,15	0,02	4,36	2,53	14,30	1,01	5,43
	0-30	0,003	/	0,11	/	14,28	0,18	0,31	2,04	2,14	26,02	0,96	2,95
	30-60	0,003	/	0,19	/	12,23	0,23	0,02	0,77	0,91	12,78	0,86	3,22
VRH	0-10	0,002	0,45	0,26	/	16,88	0,23	0,02	4,10	3,37	15,10	0,93	5,25
	0-30	0,002	/	0,21	/	16,18	0,27	0,46	4,59	3,07	24,36	1,40	3,84
ČAT	0-10	0,001	0,27	0,32	/	21,53	0,32	0,02	2,57	3,35	20,56	0,93	8,05
	0-30	0,001	0,12	0,25	/	22,51	0,29	0,52	1,96	2,53	13,77	1,47	5,79
	30-60	0,002	/	0,32	/	20,21	0,40	0,03	1,54	2,56	7,31	2,26	7,18
ZAG	0-10	0,002	/	0,27	/	11,55	0,15	0,03	3,77	2,19	11,27	0,66	5,83
	0-30	0,004	0,20	0,24	/	14,39	0,19	0,39	1,24	2,62	11,06	0,92	6,32
	30-60	0,002	/	0,28	/	13,26	0,33	0,04	2,51	2,01	8,19	1,81	5,19
JAS	0-10	0,002	0,92	0,52	/	18,13	0,42	0,03	3,37	1,97	11,01	0,68	8,21
	0-30	0,003	0,42	0,39	/	16,64	0,50	0,88	3,25	1,89	6,44	0,97	6,19
	30-60	0,004	/	0,56	/	20,43	0,70	0,07	3,66	2,71	9,90	0,60	7,80
SLB	0-10	0,001	0,55	0,33	/	20,81	0,26	0,02	3,14	1,37	9,80	1,09	4,26
	0-30	0,001	0,15	0,28	/	15,09	0,35	0,69	3,21	1,43	6,33	1,54	3,74
	30-60	0,001	/	0,32	/	34,09	0,42	0,05	11,81	1,30	8,82	2,12	4,97
ŽUP	0-10	0,001	0,67	0,28	/	18,03	0,19	0,03	3,02	1,40	10,86	2,25	5,83
	0-30	0,001	0,26	0,22	/	14,76	0,26	0,63	2,82	1,27	10,42	1,96	4,11
	30-60	0,001	/	0,20	/	11,53	0,13	0,05	1,17	0,75	6,87	2,82	1,04
SRM	0-10	0,002	0,36	0,23	/	13,58	0,30	0,16	3,14	1,28	14,45	5,42	5,56
	0-30	0,001	0,06	0,20	/	14,07	0,22	0,54	3,16	1,28	13,32	2,44	4,26
	30-60	0,001	/	0,31	/	21,04	0,24	0,08	2,60	1,22	18,51	2,43	4,87
ŠAB	0-10	0,001	0,30	0,21	/	14,78	0,12	0,04	3,12	1,13	11,80	3,02	4,84
	0-30	0,001	0,07	0,21	/	17,97	0,23	0,57	3,99	1,30	13,03	2,54	5,60
	30-60	0,001	/	0,27	/	15,21	0,26	0,07	3,03	1,60	13,20	2,80	6,99
BEO	0-10	0,001	0,14	0,18	48,61	16,92	0,13	0,02	2,82	1,29	10,32	3,06	7,43
	0-30	0,001	0,05	0,15	43,88	16,83	0,20	0,47	3,19	1,35	11,93	2,70	5,58
	30-60	0,001	0,12	0,18	46,46	27,34	0,20	0,07	2,41	1,19	13,31	3,09	7,22

4.3.3. Razlike u sadržaju hemijskih elemenata u zemljištu na ispitivanim lokalitetima

Razlike u sadržaju hemijskih elemenata u zemljištu na ispitivanim lokalitetima predstavljene su u Tabeli 8. Dobijeni rezultati pokazuju da lokalitet značajno utiče na varijabilnost sadržaja svih analiziranih hemijskih elemenata u zemljištu ($p < 0,001$). Vrednosti ukupnog i DTPA dostupnog sadržaja Se, i DTPA dostupnog sadržaja Cr su bile ispod nivoa detekcije u svim analiziranim uzorcima zemljišta i zato nisu uključene u ovu analizu.

Dominantan uticaj lokaliteta kao faktora varijabilnosti na ukupan sadržaj potencijalno toksičnih hemijskih elemenata u zemljištu, utvrđen je za As, Cd, Li, Mn, Ni, Pb i Sr u površinskom sloju zemljišta na dubini od 0-10 cm, zatim za Al, B, Cr, Cu i Zn u zemljištu dubine 0-30 cm, kao i za Fe na dubini 30-60 cm (Tabela 8). Takođe, lokalitet kao faktor varijabilnosti utiče i na DTPA dostupan sadržaj hemijskih elemenata, i to na sadržaj Al, B, Cu, Fe, Mn, Ni, Sr i Zn na dubini 0-10 cm, zatim Cd na dubini 0-30 cm, kao i na sadržaj As, Li, Mn i Pb na dubini od 30-60 cm.

Tabela 8. Uticaj lokaliteta kao faktora varijabilnosti (F) na razlike u sadržaju hemijskih elemenata na različitim dubinama zemljišta

	Dubina zemljišta	Ukupni sadržaji PTE						DTPA dostupni sadržaji PTE						
		0-10 cm		0-30 cm		30-60 cm		0-10 cm		0-30 cm		30-60 cm		
		F	p	F	p	F	p	F	p	F	p	F	p	
Potencijalno toksični elementi	Al	5436,2	***	15349,8	***	614,8	***	Al	157,3	***	10,8	***	7,4	***
	As	2049,5	***	95,6	***	347,0	***	As	113,3	***	6,5	***	174,3	***
	B	8969,2	***	12132,9	***	3743,9	***	B	7539,0	***	313,1	***	1002,2	***
	Cd	4514318,2	***	1322,5	***	2985,4	***	Cd	31285,2	***	61759,1	***	53039,3	***
	Cr	10772,0	***	17396,1	***	4856,5	***	Cr	/		/		/	
	Cu	49682,0	***	56485,4	***	1009,7	***	Cu	46236,6	***	1798,6	***	392,4	***
	Fe	7805,5	***	5386,8	***	10017,8	***	Fe	6984,1	***	417,0	***	900,8	***
	Li	6960,9	***	2918,6	***	2360,4	***	Li	536,8	***	159,3	***	3647,3	***
	Mn	12574,8	***	6301,1	***	11945,8	***	Mn	5023,7	***	1059,1	***	5240,5	***
	Ni	32752,7	***	10583,6	***	28804,4	***	Ni	6835,6	***	2753,8	***	3563,8	***
	Pb	2456,9	***	701,4	***	130,3	***	Pb	1803,9	***	79,7	***	3892,8	***
	Sr	3836,8	***	16,7	***	1716,4	***	Sr	16705,8	***	1796,5	***	7867,7	***
	Zn	16495,5	***	32080,1	***	14879,1	***	Zn	13466,8	***	6042,2	***	6256,3	***

Osenčene su vrednosti dominantnog faktora varijabilnosti (F) za analizirani element
F - faktor varijabilnosti; **p** - stepen značajnosti: *** $p < 0,001$

Statistički značajne razlike u ukupnom sadržaju Cr u zemljištu su utvrđene za sve lokalitete, izuzev Mojstrane i Zagreba, Radovljice i Čateža, kao i između Županje i Šapca (ns), kada je u pitanju površinski sloj zemljišta dubine 0-10 cm. U odnosu na ukupni sadržaj Cr u zemljištu na dubinama 0-30 cm i 30-60 cm, izdvajaju se lokaliteti Čatež, Zagreb, Slavonski Brod, Sremska Mitrovica i Beograd (Tabela 13). DTPA sadržaj Cr u zemljištu je bio ispod nivoa detekcije u svim analiziranim uzorcima zemljišta.

Tabela 13. Razlike u ukupnom sadržaju Cr na ispitivanim lokalitetima

Cr	Ukupni											
	0-10 cm											
	MOJ	RAD	LIT	VRH	ČAT	ZAG	JAS	SLB	ŽUP	SRM	ŠAB	BEO
MOJ	/											
RAD	***	/										
LIT	***	***	/									
VRH	***	**	***	/								
ČAT	***	ns	***	***	/							
ZAG	ns	***	***	***	***	/						
JAS	***	***	***	***	***	***	/					
SLB	***	***	***	***	***	***	***	/				
ŽUP	***	***	***	***	***	***	***	***	/			
SRM	***	***	***	***	***	***	***	***	***	/		
ŠAB	***	***	***	***	***	***	***	***	ns	***	/	
BEO	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	/
	0-30 cm											
	MOJ	RAD	LIT	VRH	ČAT	ZAG	JAS	SLB	ŽUP	SRM	ŠAB	BEO
MOJ	/											
RAD	/	/										
LIT	/	ns	/									
VRH	/	***	***	/								
ČAT	/	***	***	***	/							
ZAG	/	ns	*	***	***	/						
JAS	/	ns	***	***	***	ns	/					
SLB	/	***	***	***	***	***	***	/				
ŽUP	/	***	***	***	***	***	***	***	/			
SRM	/	***	***	***	***	***	***	***	***	/		
ŠAB	/	***	***	***	***	***	***	***	***	***	/	
BEO	/	***	***	***	***	***	***	***	***	**	***	/
	30-60 cm											
	MOJ	RAD	LIT	VRH	ČAT	ZAG	JAS	SLB	ŽUP	SRM	ŠAB	BEO
MOJ	/											
RAD	/	/										
LIT	/	ns	/									
VRH	/	/	/	/								
ČAT	/	***	***	/	/							
ZAG	/	***	***	/	***	/						
JAS	/	ns	ns	/	***	***	/					
SLB	/	***	***	/	***	***	***	/				
ŽUP	/	***	***	/	***	***	***	***	/			
SRM	/	***	***	/	***	***	***	***	***	/		
ŠAB	/	***	***	/	***	***	***	***	ns	***	/	
BEO	/	***	***	/	***	***	***	***	***	***	***	/

Stepen statističke značajnosti: *p<0,05; **p<0,01; ***p<0,001; ns – nije značajno

U odnosu na ukupni sadržaj Mn u zemljištima dubine 0-10 cm, svi lokaliteti se međusobno značajno razlikuju ($p < 0,01$ i $p < 0,001$). Na dubini 0-30 cm, statistički značajne razlike u sadržaju Mn su utvrđene između lokaliteta Radovljica, Litija, Čatež, Slavonski Brod i Sremska Mitrovica. Kada je u pitanju ukupan sadržaj Mn u zemljištima dubine 30-60 cm, utvrđene su značajne razlike između svih lokaliteta, sa izuzetkom Slavenskog Broda i Sremske Mitrovice (ns). Značajna razlika između ispitivanih lokaliteta po DTPA sadržaju Mn u zemljištu dubine 0-10 cm, utvrđena je za Mojstranu, Vrhovo, Čatež, Jasenovac, Slavonski Brod, Šabac i Beograd. Vrhovo, Jasenovac, Županja, Šabac i Beograd su se izdvojili po značajnim razlikama u dostupnom sadržaju ovog elementa u zemljištu na dubini 0-30 cm, dok se u zemljištu dubine 30-60 cm izdvajaju Vrhovo, Litija, Čatež, Slavonski Brod, Sremska Mitrovica, Šabac i Beograd (Tabela 17).

Tabela 17. Razlike u ukupnom i DTPA dostupnom sadržaju Mn u zemljištu na ispitivanim lokalitetima

Mn	Ukupni										DTPA													
	0-10 cm										0-10 cm													
	MOJ	RAD	LIT	VRH	ČAT	ZAG	JAS	SLB	ŽUP	SRM	ŠAB	BEO	MOJ	RAD	LIT	VRH	ČAT	ZAG	JAS	SLB	ŽUP	SRM	ŠAB	BEO
MOJ	/												/											
RAD	***	/											***	/										
LIT	***	***	/										***	ns	/									
VRH	***	***	***	/									***	***	***	/								
ČAT	***	***	***	**	/								***	***	***	***	/							
ZAG	***	***	***	***	***	/							***	ns	ns	***	***	/						
JAS	***	***	***	***	***	***	/						***	*	***	***	***	***	/					
SLB	***	***	***	***	***	***	***	/					***	***	***	***	***	***	***	/				
ŽUP	***	***	***	***	***	***	***	***	/				***	***	***	***	***	***	***	***	/			
SRM	***	***	***	***	***	***	***	***	***	/			***	***	***	***	***	***	***	***	ns	/		
ŠAB	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	/		***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	/	
BEO	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	/	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	/
	0-30 cm										0-30 cm													
	MOJ	RAD	LIT	VRH	ČAT	ZAG	JAS	SLB	ŽUP	SRM	ŠAB	BEO	MOJ	RAD	LIT	VRH	ČAT	ZAG	JAS	SLB	ŽUP	SRM	ŠAB	BEO
MOJ	/												/											
RAD	/	/											/	/										
LIT	/	***	/										/	***	/									
VRH	/	***	***	/									/	***	***	/								
ČAT	/	***	***	***	/								/	ns	***	***	/							
ZAG	/	***	***	ns	***	/							/	***	ns	***	***	/						
JAS	/	***	***	ns	***	ns	/						/	***	***	***	***	***	/					
SLB	/	***	***	***	***	***	***	/					/	***	***	***	***	***	***	/				
ŽUP	/	***	***	***	***	***	***	***	/				/	***	***	***	***	***	***	***	/			
SRM	/	***	***	***	***	***	***	***	***	/			/	***	***	***	***	***	***	ns	***	/		
ŠAB	/	***	***	***	***	***	***	***	ns	***	/		/	***	***	***	***	***	***	***	***	***	/	
BEO	/	***	***	***	***	***	***	***	ns	***	ns	/	/	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	/
	30-60 cm										30-60 cm													
	MOJ	RAD	LIT	VRH	ČAT	ZAG	JAS	SLB	ŽUP	SRM	ŠAB	BEO	MOJ	RAD	LIT	VRH	ČAT	ZAG	JAS	SLB	ŽUP	SRM	ŠAB	BEO
MOJ	/												/											
RAD	/	/											/	/										
LIT	/	***	/										/	***	/									
VRH	/	/	/	/									/	/	/	/								
ČAT	/	***	***	/	/								/	***	***	/	/							
ZAG	/	***	***	/	***	/							/	***	***	/	***	/						
JAS	/	**	***	/	***	***	/						/	***	***	/	***	ns	/					
SLB	/	***	***	/	***	***	***	/					/	***	***	/	***	***	***	/				
ŽUP	/	***	***	/	***	***	***	***	/				/	***	***	/	***	**	ns	***	/			
SRM	/	***	***	/	***	***	***	ns	***	/			/	***	***	/	***	***	***	***	***	/		
ŠAB	/	***	***	/	***	***	***	***	***	***	/		/	***	***	/	***	***	***	***	***	***	/	
BEO	/	***	***	/	***	***	***	***	***	***	***	/	/	***	***	/	***	***	***	***	***	***	***	/

Stepen statističke značajnosti: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$; ns – nije značajno

U odnosu na ukupan sadržaj Sr u zemljištima dubine 0-10 cm, utvrđeno je da se Mojstrana, Radovljica, Litija, Jasenovac, Sremska Mitrovica i Beograd značajno razlikuju od ostalih ispitivanih lokaliteta. Takođe, utvrđeno je da se Radovljica i Litija značajno razlikuju od ostalih lokaliteta po ukupnom sadržaju Sr u zemljištu na dubini 0-30 cm. Statistička analiza ukazuje na međusobnu sličnost ovih lokaliteta (ns). Sa druge strane, Radovljica, Litija, Zagreb i Županja se značajno razlikuju od ostalih ispitivanih lokaliteta u odnosu na ukupan sadržaj Sr u zemljištima dubine 30-60 cm (Tabela 20). Prema izmerenom DTPA dostupnom sadržaju Sr u zemljištima svih dubina, utvrđena je značajna razlika ($p < 0,05$, $p < 0,01$, $p < 0,001$) između svih ispitivanih lokaliteta. Izuzetak čine zemljišta na dubini 0-10 cm u Mojstrani i Radovljici i Mojstrani i Zagrebu, zatim zemljišta na dubini 0-30 cm u Čatežu i Slavonskom Brodu, kao i u Sremskoj Mitrovici i Šapcu, i zemljišta na dubini 30-60 cm u Županji i Sremskoj Mitrovici (Tabela 20).

Tabela 20. Razlike u ukupnom i DTPA dostupnom sadržaju Sr u zemljištu na ispitivanim lokalitetima

Sr	Ukupni										DTPA													
	0-10 cm										0-10 cm													
	MOJ	RAD	LIT	VRH	ČAT	ZAG	JAS	SLB	ŽUP	SRM	ŠAB	BEO	MOJ	RAD	LIT	VRH	ČAT	ZAG	JAS	SLB	ŽUP	SRM	ŠAB	BEO
MOJ	/												/											
RAD	***	/											ns	/										
LIT	**	***	/										***	***	/									
VRH	***	***	***	/									***	***	***	/								
ČAT	***	**	***	***	/								***	***	***	***	/							
ZAG	***	***	***	***	ns	/							ns	**	***	***	***	/						
JAS	***	***	***	***	***	***	/						***	***	***	***	***	***	/					
SLB	***	***	***	ns	***	***	***	/					***	***	***	***	*	***	***	/				
ŽUP	***	***	***	ns	***	***	***	ns	/				***	***	***	***	***	***	***	***	/			
SRM	***	***	***	***	***	***	***	***	***	/			***	***	***	***	***	***	***	***	***	/		
ŠAB	***	***	***	ns	***	***	***	ns	ns	***	/		***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	/	
BEO	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	/	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	/
	0-30 cm										0-30 cm													
	MOJ	RAD	LIT	VRH	ČAT	ZAG	JAS	SLB	ŽUP	SRM	ŠAB	BEO	MOJ	RAD	LIT	VRH	ČAT	ZAG	JAS	SLB	ŽUP	SRM	ŠAB	BEO
MOJ	/												/											
RAD	/	/											/	/										
LIT	/	ns	/										/	***	/									
VRH	/	***	***	/									/	***	***	/								
ČAT	/	***	***	ns	/								/	***	***	***	/							
ZAG	/	***	***	*	ns	/							/	***	***	***	***	/						
JAS	/	***	***	ns	ns	*	/						/	***	***	***	***	***	/					
SLB	/	***	***	ns	ns	ns	ns	/					/	***	***	***	ns	***	***	/				
ŽUP	/	***	***	ns	ns	**	ns	ns	/				/	***	***	***	***	***	***	***	/			
SRM	/	***	***	ns	ns	*	ns	ns	ns	/			/	***	***	***	***	***	***	***	***	/		
ŠAB	/	***	***	ns	ns	**	ns	ns	ns	ns	/		/	***	***	***	***	***	***	***	***	ns	/	
BEO	/	***	***	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns	/	/	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	/
	30-60 cm										30-60 cm													
	MOJ	RAD	LIT	VRH	ČAT	ZAG	JAS	SLB	ŽUP	SRM	ŠAB	BEO	MOJ	RAD	LIT	VRH	ČAT	ZAG	JAS	SLB	ŽUP	SRM	ŠAB	BEO
MOJ	/												/											
RAD	/	/											/	/										
LIT	/	***	/										/	***	/									
VRH	/	/	/	/									/	/	/	/								
ČAT	/	***	***	/	/								/	***	***	/	/							
ZAG	/	***	***	/	***	/							/	***	***	/	***	/						
JAS	/	***	***	/	***	***	/						/	***	***	/	***	***	/					
SLB	/	***	***	/	ns	***	***	/					/	***	***	/	***	***	***	/				
ŽUP	/	***	***	/	***	***	**	***	/				/	***	***	/	***	***	***	***	/			
SRM	/	***	***	/	ns	***	***	ns	***	/			/	***	***	/	***	***	***	***	ns	/		
ŠAB	/	***	***	/	***	***	ns	***	***	***	/		/	***	***	/	***	***	***	***	***	***	/	
BEO	/	***	***	/	***	***	ns	***	**	***	ns	/	/	***	***	/	***	***	***	***	***	***	***	/

Stepen statističke značajnosti: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$; ns – nije značajno

4.4. Sadržaj hemijskih elemenata u korenu i listovima ispitivanih vrsta biljaka u obalnoj zoni reke Save

4.4.1. *Salix alba*

Sadržaj ispitivanih hemijskih elemenata u korenu i listovima *S. alba* predstavljen je u Tabelama 22 i 23. Prosečan sadržaj elemenata u korenu varirao je u sledećem nizu: Fe > Al > Mn > Zn > Sr > B > Cu > Li > Cd > Ni > Pb > Se > Cr > As, dok je prosečan sadržaj elemenata u listu varirao u nizu: Al > Fe > Zn > B > Sr > Mn > Li > Cu > Se > Ni > Cr > Cd > Pb > As.

U korenu *S. alba* izmereni su sadržaji Al u opsegu od 64,24 mg kg⁻¹ u Mojstrani, do 2869,74 mg kg⁻¹ u Županji. U listovima ove vrste, sadržaj Al varira od 32,61 mg kg⁻¹ u Mojstrani, do 4157,23 mg kg⁻¹ u Šapcu. Rezultati ne ukazuju na pravilnost usvajanja ovog elementa u korenu i listovima od izvora ka ušću, međutim viši sadržaj Al je izmeren u Slavonskom Brodu i na lokalitetima u donjem toku reke (Tabele 22 i 23)

Sadržaj As u korenu *S. alba* je bio ispod nivoa detekcije aparata na lokalitetu Zagreb, do 6,42 mg kg⁻¹ koliko je izmereno u Šapcu. Rezultati pokazuju da se u korenu *S. alba* povećava sadržaj As duž toka reke Save, od izvora ka ušću (Tabela 22). Za razliku od korena, u listovima je sadržaj As bio ispod nivoa detekcije na većini lokaliteta, izuzev u Mojstrani (3,06 mg kg⁻¹), Županji (1,07 mg kg⁻¹) i Šapcu (6,31 mg kg⁻¹) (Tabela 23).

Sadržaj B u korenu *S. alba*, varirao je u opsegu od 6,97 mg kg⁻¹ u Mojstrani, do 21,22 mg kg⁻¹ u Sremskoj Mitrovici. U listovima ove vrste sadržaj B je bio u opsegu od 36,97 mg kg⁻¹ u Mojstrani, do 104,84 mg kg⁻¹ u Šapcu. Rezultati ne pokazuju pravilnost u usvajanju ovog elementa u korenu, dok se u listovima sadržaj B povećava od izvora ka ušću (Tabele 22 i 23).

U korenu *S. alba* sadržaj Cd je varirao u širokom opsegu, od 0,22 mg kg⁻¹ u Mojstrani, Radovljici i Litiji, do 86,96 mg kg⁻¹ u Beogradu. Sadržaj Cd u korenu ove vrste je relativno ujednačen na analiziranim lokalitetima izuzev u Beogradu (Tabela 22). U listovima *S. alba* izmereni sadržaj Cd je varirao od 0,22 mg kg⁻¹ u Radovljici, Litiji i Zagrebu, do 5,13 mg kg⁻¹ u Čatežu. Takođe, sadržaj Cd u listovima ove vrste je relativno ujednačen izuzev na lokalitetu Čatež (Tabela 23).

Sadržaj Cr u korenu vrste *S. alba* je bio ispod nivoa detekcije na lokalitetima Mojstrana, Radovljica i Litija, dok je najviši sadržaj izmeren u Županji (14,57 mg kg⁻¹). Rezultati ukazuju na povećanje sadržaja Cr u korenu ove vrste, od izvora ka ušću (Tabela 22). Sadržaj ovog elementa u listovima *S. alba* je izmeren na lokalitetima Litija (0,44 mg kg⁻¹), Slavonski Brod (2,39 mg kg⁻¹), Županja (2,58 mg kg⁻¹) i Šabac (11,48 mg kg⁻¹), dok je na ostalim lokalitetima bio ispod nivoa detekcije (Tabela 23).

Sadržaj Cu u korenu *S. alba* je bio u opsegu od 2,28 mg kg⁻¹ u Mojstrani, do 26,46 mg kg⁻¹ u Beogradu (Tabela 22). U listovima je sadržaj ovog elementa varirao od 4,92 mg kg⁻¹ na lokalitetu Mojstrana, do 11,34 mg kg⁻¹ na lokalitetu Šabac (Tabela 23). Rezultati ukazuju na povećanje sadržaja Cu u korenu i listovima *S. alba*, od izvora ka ušću reke Save.

Izmereni sadržaj Fe u korenu *S. alba* je varirao u širokom opsegu, od 40,43 mg kg⁻¹ u Mojstrani do 3210,26 mg kg⁻¹ u Županji. Izmerene vrednosti u listovima su se kretale od 25,81 mg kg⁻¹ u Mojstrani, do 3670,67 mg kg⁻¹ u Šapcu. Rezultati ne ukazuju na pravilnost u usvajanju ovog elementa u korenu i listovima, ipak viši sadržaji Fe su izmereni nizvodno, od Slavenskog Broda do Beograda, kao i na lokalitetu Litija (Tabele 22 i 23).

Izmereni sadržaj Li u korenu *S. alba* je bio ispod nivoa detekcije na 6 lokaliteta, dok je najviši sadržaj izmeren u Županji (21,73 mg kg⁻¹) (Tabela 22). U listovima je sadržaj ovog elementa varirao od veoma niskog u Radovljici, Sremskoj Mitrovici i Beogradu, do 22,01 mg kg⁻¹ u Šapcu (Tabela 23). Rezultati ne ukazuju na pravilnost u usvajanju Li u korenu i listovima vrste *S. alba* duž reke Save.

Mangan je u korenu *S. alba* varirao u širokom opsegu, od 3,75 mg kg⁻¹ u Mojstrani do 270,91 mg kg⁻¹ u Županji. U listovima *S. alba*, sadržaj Mn se kretao u opsegu od 16,64 mg kg⁻¹ u

Zagrebu, do 151,47 mg kg⁻¹ u Županji. Rezultati ukazuju na povećanje sadržaja Mn u korenu i listovima ove vrste, od izvora ka ušću reke Save (Tabele 22 i 23).

Sadržaj Ni u korenu vrste *S. alba* je bio ispod nivoa detekcije aparata u Mojstrani i Radovljici, dok je najviši sadržaj izmeren u Županji (19,08 mg kg⁻¹). Rezultati ukazuju na povećanje sadržaja ovog elementa u korenu, od izvora ka ušću reke Save (Tabela 22). Sadržaj Ni u listovima ove vrste je bio ispod nivoa detekcije na 5 lokaliteta, dok su najviše vrednosti izmerene u Šapcu (13,26 mg kg⁻¹) (Tabela 23).

Najniži sadržaj Pb u korenu *S. alba* je izmeren u Jasenovcu (1,33 mg kg⁻¹), a najviši u Beogradu (10,48 mg kg⁻¹). Rezultati ukazuju na povećanje sadržaja Pb u korenu ove vrste, od izvora ka ušću (Tabela 22). Sa druge strane, sadržaj ovog elementa u listovima *S. alba* je na većini lokaliteta bio ispod nivoa detekcije, dok je najviši sadržaj izmeren u Šapcu (8,34 mg kg⁻¹) (Tabela 23).

U korenu *S. alba* je izmeren relativno ujednačen sadržaj Se. Ovaj element je bio ispod nivoa detekcije aparata na lokalitetu Litija, a najviši sadržaj je izmeren u Jasenovcu (4,92 mg kg⁻¹) (Tabela 22). Takođe, sadržaj Se je bio ujednačen i u listovima *S. alba*, a izmerene vrednosti su se kretale u opsegu od 4,55 mg kg⁻¹ u Čatežu, do 6,44 mg kg⁻¹ u Zagrebu (Tabela 23).

Sadržaj Sr u korenu *S. alba* je varirao od 20,18 mg kg⁻¹ u Radovljici, do 41,88 mg kg⁻¹ u Sremskoj Mitrovici. Sadržaj ovog elementa u listovima je bio u opsegu od 34,11 mg kg⁻¹ u Litiji, do 107,66 mg kg⁻¹ u Sremskoj Mitrovici. Rezultati ne ukazuju na pravilnost u usvajanju Sr u korenu i listovima *S. alba*, od izvora ka ušću reke Save (Tabele 22 i 23).

U korenu *S. alba*, sadržaj Zn je varirao od 18,35 mg kg⁻¹ u Radovljici, do 278,18 mg kg⁻¹ u Beogradu. Rezultati ukazuju na povećano usvajanje ovog elementa u korenu, od izvora ka ušću (Tabela 22). Sa druge strane, sadržaj Zn u listovima *S. alba* je bio relativno ujednačen. Najniži sadržaj ovog elementa u listovima je izmeren u Litiji (44,41 mg kg⁻¹), a najviši u Čatežu (308,03 mg kg⁻¹) (Tabela 23).

Tabela 22. Sadržaj elemenata u korenu *S. alba*; srednja vrednost i standardna devijacija u zagradi; vrednosti su izražene u mg kg⁻¹

Lokalitet	Al	As	B	Cd	Cr	Cu	Fe	Li	Mn	Ni	Pb	Se	Sr	Zn
MOJ	64,24 (5,50)	2,05 (0,51)	6,97 (0,06)	0,22 (0,00)	<LoQ	2,28 (0,00)	40,43 (0,53)	<LoQ	3,75 (0,09)	<LoQ	2,19 (0,12)	4,14 (0,27)	20,91 (0,42)	36,99 (0,48)
RAD	95,50 (5,13)	3,19 (0,57)	10,43 (0,19)	0,22 (0,00)	<LoQ	2,66 (0,00)	192,52 (2,68)	<LoQ	14,62 (0,21)	<LoQ	2,33 (0,26)	4,74 (0,23)	20,18 (0,38)	18,35 (0,25)
LIT	341,73 (31,28)	2,42 (0,43)	14,14 (0,66)	0,22 (0,00)	<LoQ	5,19 (0,07)	2287,54 (35,99)	17,58 (2,41)	34,00 (1,67)	1,83 (0,26)	3,14 (0,13)	<LoQ	23,00 (0,89)	20,29 (1,15)
VRH	417,92 (58,44)	1,33 (0,52)	7,39 (0,09)	0,25 (0,00)	0,64 (0,07)	7,41 (2,59)	314,06 (60,40)	<LoQ	11,08 (0,89)	0,27 (0,08)	2,19 (0,07)	1,71 (0,19)	33,17 (1,75)	33,17 (1,75)
ČAT	887,41 (9,90)	2,78 (0,33)	10,55 (0,09)	0,44 (0,00)	1,00 (0,00)	6,50 (0,00)	609,01 (31,52)	<LoQ	26,75 (0,71)	0,55 (0,14)	1,83 (0,15)	4,73 (0,25)	36,63 (0,17)	53,07 (0,33)
ZAG	465,66 (7,40)	<LoQ	9,36 (0,07)	0,25 (0,00)	1,33 (0,00)	7,33 (1,28)	417,06 (3,57)	<LoQ	18,02 (0,40)	0,61 (0,14)	2,22 (0,09)	1,33 (0,11)	29,19 (1,20)	48,89 (2,16)
JAS	250,23 (10,43)	2,58 (0,31)	8,64 (0,07)	0,44 (0,00)	0,58 (0,09)	5,28 (0,25)	696,05 (11,77)	<LoQ	48,77 (0,17)	0,39 (0,09)	1,33 (0,21)	4,92 (0,31)	21,33 (0,51)	26,59 (0,11)
SLB	1282,58 (80,29)	3,86 (0,81)	13,92 (0,64)	0,67 (0,00)	2,61 (0,31)	7,75 (0,09)	2625,06 (123,38)	16,39 (1,57)	128,08 (2,16)	2,70 (0,34)	2,95 (0,52)	4,33 (0,56)	26,09 (0,29)	35,82 (2,97)
ŽUP	2869,74 (736,47)	4,72 (0,45)	17,46 (0,69)	1,22 (0,12)	14,57 (2,96)	14,58 (1,09)	3210,26 (66,28)	21,73 (1,75)	270,91 (17,42)	19,08 (2,40)	7,36 (1,29)	3,69 (0,44)	36,19 (1,14)	48,37 (1,81)
SRM	1440,44 (160,59)	5,53 (0,13)	21,22 (0,09)	1,33 (0,00)	5,55 (0,61)	17,44 (0,62)	3073,35 (29,58)	19,72 (2,37)	165,64 (11,12)	10,47 (1,13)	5,50 (0,30)	3,81 (0,19)	41,88 (0,75)	56,72 (1,29)
ŠAB	1011,27 (24,05)	6,42 (0,25)	11,92 (1,01)	4,48 (0,09)	7,25 (0,82)	22,14 (0,58)	1169,72 (14,06)	21,03 (1,97)	73,58 (1,85)	10,17 (0,49)	9,89 (0,49)	3,58 (0,29)	39,08 (1,02)	125,55 (6,55)
BEO	1740,21 (48,73)	5,50 (0,23)	13,07 (0,60)	86,96 (0,63)	7,65 (0,57)	26,46 (0,41)	1339,67 (43,99)	9,18 (1,03)	52,21 (0,47)	8,16 (0,14)	10,48 (0,46)	4,25 (0,29)	32,88 (0,75)	278,18 (1,71)
Srednja vrednost za ceo tok	905,58	3,37	12,09	8,06	3,43	10,42	1331,23	8,80	70,62	4,52	4,28	3,44	29,62	65,17
Deficit ^a	-	-	20-70	-	-	2-5	<50	-	-	-	-	-	-	10-20
Normalni opseg ^a	-	1-1,7	10-100	0,002-1	0,1-0,5	5-30	-	3-5	30-300	0,1-5	0,2-10	0,01-2	1-10	27-150
Toksičan opseg ^a	-	5-20	>50	5-30	5-30	20-100	>300	5-50	400-1000	10-100	30-300	5-30	>30	100-400

^a Kabata-Pendias 2011; vrednosti u opsegu koncentracija toksičnih za biljke su u bold formatu; vrednosti u opsegu koncentracija deficita su osenčene; <LoQ – ispod nivoa detekcije

Tabela 23. Sadržaj elemenata u listovima *S. alba*; srednja vrednost i standardna devijacija u zagradi; vrednosti su izražene u mg kg⁻¹

Lokalitet	Al	As	B	Cd	Cr	Cu	Fe	Li	Mn	Ni	Pb	Se	Sr	Zn
MOJ	32,61 (2,56)	3,06 (0,46)	36,97 (0,49)	0,44 (0,00)	<LoQ	4,92 (0,09)	25,81 (0,78)	7,23 (1,64)	21,31 (0,13)	0,44 (0,09)	<LoQ	5,19 (0,44)	74,78 (0,55)	149,61 (0,59)
RAD	56,10 (6,34)	<LoQ	50,58 (0,61)	0,22 (0,00)	<LoQ	5,11 (0,09)	80,63 (1,13)	<LoQ	19,33 (0,00)	<LoQ	<LoQ	5,36 (0,25)	48,91 (0,28)	157,07 (0,28)
LIT	701,54 (33,07)	<LoQ	60,12 (0,58)	0,22 (0,00)	0,44 (0,09)	6,31 (0,22)	507,95 (12,10)	9,39 (0,23)	27,81 (0,17)	0,42 (0,09)	0,71 (0,06)	5,11 (0,39)	34,11 (0,28)	44,41 (1,00)
VRH	235,13 (5,76)	<LoQ	46,96 (0,21)	1,55 (0,00)	<LoQ	5,05 (0,14)	201,83 (4,57)	6,83 (0,42)	30,65 (0,24)	<LoQ	<LoQ	5,91 (0,43)	59,46 (0,36)	227,91 (2,24)
ČAT	329,03 (25,90)	<LoQ	61,61 (0,44)	5,13 (0,09)	<LoQ	6,28 (0,31)	272,43 (1,33)	8,80 (0,69)	30,27 (0,34)	<LoQ	<LoQ	4,55 (0,50)	91,44 (1,45)	308,03 (2,67)
ZAG	68,19 (1,59)	<LoQ	73,47 (0,25)	0,63 (0,09)	<LoQ	5,33 (0,18)	85,06 (1,90)	6,89 (0,33)	16,64 (0,34)	<LoQ	<LoQ	6,44 (0,17)	61,44 (0,58)	83,48 (0,48)
JAS	130,02 (21,14)	<LoQ	59,42 (0,38)	0,22 (0,00)	<LoQ	7,96 (0,07)	160,47 (8,13)	7,19 (0,69)	54,22 (0,10)	0,50 (0,00)	<LoQ	5,36 (0,31)	46,43 (0,20)	102,08 (1,94)
SLB	1347,42 (42,81)	<LoQ	67,64 (0,87)	0,66 (0,00)	2,39 (0,31)	6,83 (0,37)	996,53 (8,58)	12,58 (2,67)	62,36 (1,49)	1,42 (0,09)	1,03 (0,19)	5,08 (0,35)	53,44 (2,82)	133,30 (2,50)
ŽUP	908,15 (28,71)	1,07 (0,23)	78,22 (0,23)	0,66 (0,00)	2,58 (0,09)	8,00 (0,18)	1003,42 (12,84)	8,53 (1,52)	151,47 (1,23)	4,14 (0,07)	1,00 (0,24)	5,55 (0,23)	61,53 (0,13)	105,34 (0,69)
SRM	77,67 (3,46)	<LoQ	96,72 (0,44)	0,66 (0,00)	<LoQ	6,17 (0,61)	79,89 (0,53)	<LoQ	75,78 (0,17)	<LoQ	<LoQ	5,89 (0,44)	107,66 (0,65)	175,41 (0,44)
ŠAB	4157,23 (232,05)	6,31 (0,59)	104,84 (1,90)	1,33 (0,00)	11,48 (0,60)	11,34 (0,21)	3670,67 (279,45)	22,01 (5,64)	115,87 (2,63)	13,26 (0,84)	8,34 (0,67)	5,44 (0,39)	86,89 (0,48)	204,55 (2,17)
BEO	65,48 (1,86)	<LoQ	82,72 (0,63)	0,44 (0,00)	<LoQ	10,39 (0,25)	119,88 (1,33)	<LoQ	52,12 (0,94)	2,33 (0,00)	<LoQ	6,05 (0,31)	68,81 (0,75)	127,52 (0,39)
Srednja vrednost za ceo tok	675,71	0,87	68,27	1,01	1,41	7,02	600,38	7,45	54,82	1,88	0,92	5,50	66,24	151,56
Deficit ^a	-	-	20-70	-	-	2-5	<50	-	-	-	-	-	-	10-20
Normalni opseg ^a	-	1-1,7	10-100	0,002-1	0,1-0,5	5-30	-	3-5	30-300	0,1-5	0,2-10	0,01-2	1-10	27-150
Toksičan opseg ^a	-	5-20	>50	5-30	5-30	20-100	>300	5-50	400-1000	10-100	30-300	5-30	>30	100-400

^a Kabata-Pendias 2011; vrednosti u opsegu koncentracija toksičnih za biljke su u bold formatu; vrednosti u opsegu koncentracija deficita su osenčene; <LoQ – ispod nivoa detekcije

Razlike u sadržaju hemijskih elemenata u korenu i listovima *S. alba* na analiziranim lokalitetima su predstavljene u Tabelama 24-38. Dobijeni rezultati pokazuju da lokalitet kao faktor varijabilnosti značajno utiče na sadržaj svih analiziranih hemijskih elemenata u listu i u korenu *S. alba* ($p < 0,001$) (Tabela 24). Dominantan uticaj lokaliteta je utvrđen za sadržaj Cd, Cu, Fe, Li i Se u korenu, kao i za sadržaj Al, As, B, Cr, Mn, Ni, Pb, Sr i Zn u listovima.

Tabela 24. Uticaj lokaliteta kao faktora varijabilnosti (F) na razlike u sadržaju hemijskih elemenata u korenu i listovima *S. alba*

	Biljni delovi	Koren		List	
	Faktor varijabilnosti i stepen značajnosti	F	p	F	p
Potencijalno toksični elementi	Al	84,7	***	1097,6	***
	As	112,1	***	442,3	***
	B	457,9	***	4115,5	***
	Cd	104619,7	***	8248,1	***
	Cr	142,3	***	1691,1	***
	Cu	410,3	***	360,9	***
	Fe	3404,8	***	964,8	***
	Li	309,7	***	59,7	***
	Mn	1048,9	***	10619,3	***
	Ni	355,0	***	1414,4	***
	Pb	286,3	***	741,1	***
	Se	168,4	***	11,9	***
	Sr	613,6	***	2328,1	***
	Zn	5511,8	***	12331,7	***

Osenčene su vrednosti dominantnog faktora varijabilnosti (F) za analizirani element
F - faktor varijabilnosti; **p** - stepen značajnosti: *** $p < 0,001$

Utvrđeno je da se u odnosu na izmeren sadržaj Al u korenu *S. alba*, Županja značajno razlikuje od ostalih lokaliteta ($p < 0,001$). Takođe, značajne razlike u sadržaju Al su utvrđene između lokaliteta u gornjem toku (Mojstrana, Radovljica, Litija i Vrhovo) i lokaliteta u donjem toku reke Save (Županja; Sremska Mitrovica, Šabac i Beograd). U odnosu na izmeren sadržaj Al u listovima, lokaliteti Litija, Slavonski Brod, Županja i Šabac se izdvajaju kao značajno različiti ($p < 0,05$, $p < 0,01$ i $p < 0,001$) (Tabela 25).

Tabela 25. Razlike između lokaliteta u odnosu na sadržaj Al u korenu i listovima *S. alba*

	Sadržaj Al u korenu										Sadržaj Al u listovima														
	MOJ	RAD	LIT	VRH	ČAT	ZAG	JAS	SLB	ŽUP	SRM	ŠAB	BEO	MOJ	RAD	LIT	VRH	ČAT	ZAG	JAS	SLB	ŽUP	SRM	ŠAB	BEO	
MOJ	/											MOJ	/												
RAD	ns	/										RAD	ns	/											
LIT	ns	ns	/									LIT	***	***	/										
VRH	ns	ns	ns	/								VRH	**	*	***	/									
ČAT	***	***	***	*	/							ČAT	***	***	***	ns	/								
ZAG	ns	ns	ns	ns	ns	/						ZAG	ns	ns	***	ns	***	/							
JAS	ns	ns	ns	ns	***	ns	/					JAS	ns	ns	***	ns	**	ns	/						
SLB	***	***	***	***	ns	***	***	/				SLB	***	***	***	***	***	***	***	/					
ŽUP	***	***	***	***	***	***	***	***	/			ŽUP	***	***	**	***	***	***	***	***	/				
SRM	***	***	***	***	***	***	***	ns	***	/		SRM	ns	ns	***	ns	***	ns	ns	***	***	/			
ŠAB	***	***	***	***	ns	***	***	ns	***	ns	/	ŠAB	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	/		
BEO	***	***	***	***	***	***	***	*	***	ns	***	/	BEO	ns	ns	***	ns	***	ns	ns	***	***	ns	***	/

Stepen statističke značajnosti: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$; ns – nije značajno

U odnosu na sadržaj As u korenu *S. alba*, značajne razlike ($p < 0,001$) su ustanovljene između lokaliteta u gornjem i srednjem delu toka (od Mojstrane do Slavenskog Broda), i lokaliteta u donjem delu toka (od Županje do Beograda). U odnosu na sadržaj ovog elementa u listovima, izdvajaju se lokaliteti Mojstrana, Županja i Šabac ($p < 0,001$) (Tabela 26).

Tabela 26. Razlike između lokaliteta u odnosu na sadržaj As u korenu i listovima *S. alba*

	Sadržaj As u korenu											Sadržaj As u listovima													
	MOJ	RAD	LIT	VRH	ČAT	ZAG	JAS	SLB	ŽUP	SRM	ŠAB	BEO	MOJ	RAD	LIT	VRH	ČAT	ZAG	JAS	SLB	ŽUP	SRM	ŠAB	BEO	
MOJ	/												MOJ	/											
RAD	**	/											RAD	***	/										
LIT	ns	ns	/										LIT	***	ns	/									
VRH	ns	***	**	/									VRH	***	ns	ns	/								
ČAT	ns	ns	ns	***	/								ČAT	***	ns	ns	ns	/							
ZAG	***	***	***	***	***	/							ZAG	***	ns	ns	ns	ns	/						
JAS	ns	ns	ns	***	ns	***	/						JAS	***	ns	ns	ns	ns	ns	/					
SLB	***	ns	***	***	**	***	***	/					SLB	***	ns	ns	ns	ns	ns	ns	/				
ŽUP	***	***	***	***	***	***	***	ns	/				ŽUP	***	***	***	***	***	***	***	***	/			
SRM	***	***	***	***	***	***	***	***	ns	/			SRM	***	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	***	/		
ŠAB	***	***	***	***	***	***	***	***	*	/			ŠAB	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	/	
BEO	***	***	***	***	***	***	***	ns	ns	*	/		BEO	***	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	***	ns	***	/

Stepen statističke značajnosti: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$; ns – nije značajno

U odnosu na sadržaj B u korenu *S. alba*, izdvajaju se Županja, Sremska Mitrovica i Šabac (Tabela 27). Kada je u pitanju sadržaj B u listovima, statistički značajne razlike ($p < 0,001$) su utvrđene između svih lokaliteta, izuzev Litije i Čateža, i Litije i Jasenovca (ns) (Tabela 27).

Tabela 27. Razlike između lokaliteta u odnosu na sadržaj B u korenu i listovima *S. alba*

	Sadržaj B u korenu											Sadržaj B u listovima													
	MOJ	RAD	LIT	VRH	ČAT	ZAG	JAS	SLB	ŽUP	SRM	ŠAB	BEO	MOJ	RAD	LIT	VRH	ČAT	ZAG	JAS	SLB	ŽUP	SRM	ŠAB	BEO	
MOJ	/												MOJ	/											
RAD	***	/											RAD	***	/										
LIT	***	***	/										LIT	***	***	/									
VRH	ns	***	***	/									VRH	***	***	***	/								
ČAT	***	ns	***	***	/								ČAT	***	***	ns	***	/							
ZAG	***	*	***	***	**	/							ZAG	***	***	***	***	***	/						
JAS	***	***	***	**	***	ns	/						JAS	***	***	ns	***	***	***	/					
SLB	***	***	ns	***	***	***	***	/					SLB	***	***	***	***	***	***	***	/				
ŽUP	***	***	***	***	***	***	***	***	/				ŽUP	***	***	***	***	***	***	***	***	/			
SRM	***	***	***	***	***	***	***	***	***	/			SRM	***	***	***	***	***	***	***	***	***	/		
ŠAB	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	/		ŠAB	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	/	
BEO	***	***	*	***	***	***	***	ns	***	***	**	/	BEO	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	/

Stepen statističke značajnosti: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$; ns – nije značajno

Na osnovu sadržaja Cd u korenu *S. alba*, ustanovljene su značajne razlike ($p < 0,001$) između lokaliteta u gornjem i srednjem delu toka (od Mojstrane do Jasenovca) u odnosu na lokalitete donjeg dela toka (od Županje do Beograda). Prema sadržaju Cd u listovima, izdvajaju se lokaliteti Vrhovo, Čatež i Šabac kao statistički značajno različiti u odnosu na sve istraživane lokalitete (Tabela 28).

Tabela 28. Razlike između lokaliteta u odnosu na sadržaj Cd u korenu i listovima *S. alba*

Sadržaj Cd u korenu											Sadržaj Cd u listovima															
	MOJ	RAD	LIT	VRH	ČAT	ZAG	JAS	SLB	ŽUP	SRM	ŠAB	BEO		MOJ	RAD	LIT	VRH	ČAT	ZAG	JAS	SLB	ŽUP	SRM	ŠAB	BEO	
MOJ	/												MOJ	/												
RAD	ns	/											RAD	***	/											
LIT	ns	ns	/										LIT	***	ns	/										
VRH	ns	ns	ns	/									VRH	***	***	***	/									
ČAT	ns	ns	ns	ns	/								ČAT	***	***	***	***	/								
ZAG	ns	ns	ns	ns	ns	/							ZAG	***	***	***	***	***	/							
JAS	ns	ns	ns	ns	ns	ns	/						JAS	***	ns	ns	***	***	***	/						
SLB	**	**	**	*	ns	*	ns	/					SLB	***	***	***	***	***	ns	***	/					
ŽUP	***	***	***	***	***	***	***	***	/				ŽUP	***	***	***	***	***	ns	***	ns	/				
SRM	***	***	***	***	***	***	***	***	ns	/			SRM	***	***	***	***	***	ns	***	ns	ns	/			
ŠAB	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	/		ŠAB	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	/	
BEO	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	/	BEO	ns	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	/

Stepen statističke značajnosti: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$; ns – nije značajno

Utvrđeno je postojanje značajnih razlika ($p < 0,001$) u sadržaju Cr u korenu *S. alba* između lokaliteta u gornjem i srednjem delu toka reke Save (od Mojstrane do Jasenovca) i lokaliteta u donjem toku reke Save (od Županje do Beograda). U odnosu na sadržaj ovog elementa u listovima, lokaliteti Litija i Šabac se značajno razlikuju od svih ostalih ($p < 0,05$, $p < 0,01$ i $p < 0,001$) (Tabela 29).

Tabela 29. Razlike između lokaliteta u odnosu na sadržaj Cr u korenu i listovima *S. alba*

Sadržaj Cr u korenu											Sadržaj Cr u listovima														
	MOJ	RAD	LIT	VRH	ČAT	ZAG	JAS	SLB	ŽUP	SRM	ŠAB	BEO		MOJ	RAD	LIT	VRH	ČAT	ZAG	JAS	SLB	ŽUP	SRM	ŠAB	BEO
MOJ	/												MOJ	/											
RAD	ns	/											RAD	ns	/										
LIT	ns	ns	/										LIT	*	*	/									
VRH	ns	ns	ns	/									VRH	ns	ns	*	/								
ČAT	ns	ns	ns	ns	/								ČAT	ns	ns	*	ns	/							
ZAG	ns	ns	ns	ns	ns	/							ZAG	ns	ns	*	ns	ns	/						
JAS	ns	ns	ns	ns	ns	ns	/						JAS	ns	ns	*	ns	ns	ns	/					
SLB	***	***	***	*	ns	ns	*	/					SLB	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
ŽUP	***	***	***	***	***	***	***	***	/				ŽUP	***	***	***	***	***	***	***	***	ns	***	***	***
SRM	***	***	***	***	***	***	***	***	***	/			SRM	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	***	***	***	***	***
ŠAB	***	***	***	***	***	***	***	***	***	ns	/		ŠAB	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
BEO	***	***	***	***	***	***	***	***	***	*	ns	/	BEO	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	***	***	ns	***	***

Stepen statističke značajnosti: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$; ns – nije značajno

Lokaliteti u donjem delu toka (Županja, Sremska Mitrovica, Šabac i Beograd) se značajno razlikuju ($p < 0,001$) u odnosu na ostale lokalitete po sadržaju Cu u korenu *S. alba*. Međutim, kada je u pitanju sadržaj Cu u listovima, statistički značajne razlike su utvrđene samo za lokalitete Šabac i Beograd ($p < 0,001$) (Tabela 30).

Tabela 30. Razlike između lokaliteta u odnosu na sadržaj Cu u korenu i listovima *S. alba*

	Sadržaj Cu u korenu										Sadržaj Cu u listovima													
	MOJ	RAD	LIT	VRH	ČAT	ZAG	JAS	SLB	ŽUP	SRM	ŠAB	BEO	MOJ	RAD	LIT	VRH	ČAT	ZAG	JAS	SLB	ŽUP	SRM	ŠAB	BEO
MOJ	/												MOJ	/										
RAD	ns	/											RAD	ns	/									
LIT	***	**	/										LIT	***	***	/								
VRH	***	***	**	/									VRH	ns	ns	***	/							
ČAT	***	***	ns	ns	/								ČAT	***	***	ns	***	/						
ZAG	***	***	*	ns	ns	/							ZAG	ns	ns	***	ns	***	/					
JAS	***	***	ns	*	ns	*	/						JAS	***	***	***	***	***	***	/				
SLB	***	***	**	ns	ns	ns	**	/					SLB	***	***	*	***	*	***	***	/			
ŽUP	***	***	***	***	***	***	***	***	/				ŽUP	***	***	***	***	***	***	ns	***	/		
SRM	***	***	***	***	***	***	***	***	***	/			SRM	***	***	ns	***	ns	***	***	ns	***	/	
ŠAB	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	/		ŠAB	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	/
BEO	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	/	BEO	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***

Stepen statističke značajnosti: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$; ns – nije značajno

U pogledu sadržaja Fe u korenu vrste *S. alba*, utvrđeno je postojanje statistički značajnih razlika ($p < 0,05$, $p < 0,01$ i $p < 0,001$) između svih lokaliteta izuzev Čateža i Jasenovca. Kada je u pitanju sadržaj Fe u listovima, Litija i Šabac se jasno izdvajaju kao značajno različiti u odnosu na sve ostale istraživane lokalitete ($p < 0,001$) (Tabela 31).

Tabela 31. Razlike između lokaliteta u odnosu na sadržaj Fe u korenu i listovima *S. alba*

	Sadržaj Fe u korenu										Sadržaj Fe u listovima													
	MOJ	RAD	LIT	VRH	ČAT	ZAG	JAS	SLB	ŽUP	SRM	ŠAB	BEO	MOJ	RAD	LIT	VRH	ČAT	ZAG	JAS	SLB	ŽUP	SRM	ŠAB	BEO
MOJ	/												MOJ	/										
RAD	***	/											RAD	ns	/									
LIT	***	***	/										LIT	***	***	/								
VRH	***	**	***	/									VRH	*	ns	***	/							
ČAT	***	***	***	***	/								ČAT	***	**	***	ns	/						
ZAG	***	***	***	*	***	/							ZAG	ns	ns	***	ns	**	/					
JAS	***	***	***	***	ns	***	/						JAS	ns	ns	***	ns	ns	ns	/				
SLB	***	***	***	***	***	***	***	/					SLB	***	***	***	***	***	***	***	/			
ŽUP	***	***	***	***	***	***	***	***	/				ŽUP	***	***	***	***	***	***	***	ns	/		
SRM	***	***	***	***	***	***	***	***	***	/			SRM	ns	ns	***	ns	**	ns	ns	***	***	/	
ŠAB	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	/		ŠAB	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	/
BEO	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	/	BEO	ns	ns	***	ns	ns	ns	ns	***	***	ns	***

Stepen statističke značajnosti: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$; ns – nije značajno

U odnosu na sadržaj Li u korenu vrste *S. alba*, Beograd se značajno razlikuje ($p<0,001$) od ostalih lokaliteta, dok se u odnosu na sadržaj ovog elementa u listovima jasno izdvaja lokalitet Šabac ($p<0,001$) (Tabela 32).

Tabela 32. Razlike između lokaliteta u odnosu na sadržaj Li u korenu i listovima *S. alba*

	Sadržaj Li u korenu											Sadržaj Li u listovima												
	MOJ	RAD	LIT	VRH	ČAT	ZAG	JAS	SLB	ŽUP	SRM	ŠAB	BEO	MOJ	RAD	LIT	VRH	ČAT	ZAG	JAS	SLB	ŽUP	SRM	ŠAB	BEO
MOJ	/												MOJ	/										
RAD	ns	/											RAD	***	/									
LIT	***	***	/										LIT	ns	***	/								
VRH	ns	ns	***	/									VRH	ns	***	ns	/							
ČAT	ns	ns	***	ns	/								ČAT	ns	***	ns	ns	/						
ZAG	ns	ns	***	ns	ns	/							ZAG	ns	***	ns	ns	ns	/					
JAS	ns	ns	***	ns	ns	ns	/						JAS	ns	***	ns	ns	ns	ns	/				
SLB	***	***	ns	***	***	***	***	/					SLB	***	***	ns	***	ns	***	***	/			
ŽUP	***	***	***	***	***	***	***	***	/				ŽUP	ns	***	ns	ns	ns	ns	ns	*	/		
SRM	***	***	ns	***	***	***	***	**	ns	/			SRM	***	ns	***	***	***	***	***	***	***	***	/
ŠAB	***	***	**	***	***	***	***	***	ns	ns	/		ŠAB	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	/
BEO	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	/		BEO	***	ns	***	***	***	***	***	***	ns	***	/

Stepen statističke značajnosti: * $p<0,05$; ** $p<0,01$; *** $p<0,001$; ns – nije značajno

Po sadržaju Mn u korenu *S. alba*, lokaliteti Jasenovac, Slavonski Brod, Županja, Sremska Mitrovica, Šabac i Beograd, značajno se razlikuju od drugih istraživanih lokaliteta ($p<0,001$). U odnosu na sadržaj Mn u listovima, svi lokaliteti se međusobno razlikuju, izuzev (ns) Vrhova i Čateža ($p<0,05$, $p<0,01$ i $p<0,001$) (Tabela 33).

Tabela 33. Razlike između lokaliteta u odnosu na sadržaj Mn u korenu i listovima *S. alba*

	Sadržaj Mn u korenu											Sadržaj Mn u listovima													
	MOJ	RAD	LIT	VRH	ČAT	ZAG	JAS	SLB	ŽUP	SRM	ŠAB	BEO	MOJ	RAD	LIT	VRH	ČAT	ZAG	JAS	SLB	ŽUP	SRM	ŠAB	BEO	
MOJ	/												MOJ	/											
RAD	ns	/											RAD	*	/										
LIT	***	***	/										LIT	***	***	/									
VRH	ns	ns	***	/									VRH	***	***	***	/								
ČAT	***	*	ns	**	/								ČAT	***	***	**	ns	/							
ZAG	**	ns	**	ns	ns	/							ZAG	***	**	***	***	***	/						
JAS	***	***	**	***	***	***	/						JAS	***	***	***	***	***	***	/					
SLB	***	***	***	***	***	***	***	/					SLB	***	***	***	***	***	***	***	/				
ŽUP	***	***	***	***	***	***	***	***	/				ŽUP	***	***	***	***	***	***	***	***	/			
SRM	***	***	***	***	***	***	***	***	***	/			SRM	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	/	
ŠAB	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	/		ŠAB	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	/	
BEO	***	***	***	***	***	***	ns	***	***	***	***	/	BEO	***	***	***	***	***	***	*	***	***	***	***	/

Stepen statističke značajnosti: * $p<0,05$; ** $p<0,01$; *** $p<0,001$; ns – nije značajno

U odnosu na sadržaj Ni u korenu *S. alba*, izdvajaju se lokaliteti Županja i Beograd ($p < 0,01$ i $p < 0,001$) kao značajno različiti u odnosu na sve istraživane lokalitete. Takođe, ustanovljena je razlika između lokaliteta u delovima toka od Mojstrane do Jasenovca ($p < 0,001$) i od Slavenskog Broda do Beograda. U odnosu na sadržaj Ni u listovima, izdvajaju se Slavonski Brod, Županja, Šabac i Beograd ($p < 0,001$) (Tabela 34).

Tabela 34. Razlike između lokaliteta u odnosu na sadržaj Ni u korenu i listovima *S. alba*

Sadržaj Ni u korenu											Sadržaj Ni u listovima														
	MOJ	RAD	LIT	VRH	ČAT	ZAG	JAS	SLB	ŽUP	SRM	ŠAB	BEO		MOJ	RAD	LIT	VRH	ČAT	ZAG	JAS	SLB	ŽUP	SRM	ŠAB	BEO
MOJ	/												MOJ	/											
RAD	ns	/											RAD	ns	/										
LIT	*	*	/										LIT	ns	ns	/									
VRH	ns	ns	**	/									VRH	ns	ns	ns	/								
ČAT	ns	ns	ns	ns	/								ČAT	ns	ns	ns	ns	/							
ZAG	ns	ns	ns	ns	ns	/							ZAG	ns	ns	ns	ns	ns	/						
JAS	ns	ns	ns	ns	ns	ns	/						JAS	ns	*	ns	*	*	*	/					
SLB	***	***	ns	***	**	**	***	/					SLB	***	***	***	***	***	***	***	/				
ŽUP	***	***	***	***	***	***	***	***	/				ŽUP	***	***	***	***	***	***	***	***	***	/		
SRM	***	***	***	***	***	***	***	***	***	/			SRM	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	***	***	/		
ŠAB	***	***	***	***	***	***	***	***	***	ns	/		ŠAB	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	/	
BEO	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	**	/	BEO	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	/

Stepen statističke značajnosti: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$; ns – nije značajno

Lokaliteti donjeg dela toka (od Županje do Beograda) se značajno razlikuju ($p < 0,001$) od lokaliteta u gornjem i srednjem delu toka po sadržaju Pb u korenu vrste *S. alba*. U pogledu sadržaja Pb u listovima, ističe se Šabac kao jedini lokalitet statistički značajno različit u odnosu na ostale istraživane lokalitete ($p < 0,001$) (Tabela 35).

Tabela 35. Razlike između lokaliteta u odnosu na sadržaj Pb u korenu i listovima *S. alba*

Sadržaj Pb u korenu											Sadržaj Pb u listovima														
	MOJ	RAD	LIT	VRH	ČAT	ZAG	JAS	SLB	ŽUP	SRM	ŠAB	BEO		MOJ	RAD	LIT	VRH	ČAT	ZAG	JAS	SLB	ŽUP	SRM	ŠAB	BEO
MOJ	/												MOJ	/											
RAD	ns	/											RAD	ns	/										
LIT	*	ns	/										LIT	***	***	/									
VRH	ns	ns	*	/									VRH	ns	ns	***	/								
ČAT	ns	ns	***	ns	/								ČAT	ns	ns	***	ns	/							
ZAG	ns	ns	ns	ns	ns	/							ZAG	ns	ns	***	ns	ns	/						
JAS	ns	*	***	ns	ns	ns	/						JAS	ns	ns	***	ns	ns	ns	/					
SLB	ns	ns	ns	ns	**	ns	***	/					SLB	***	***	ns	***	***	***	***	/				
ŽUP	***	***	***	***	***	***	***	***	/				ŽUP	***	***	ns	***	***	***	***	ns	/			
SRM	***	***	***	***	***	***	***	***	***	/			SRM	ns	ns	***	ns	ns	ns	ns	***	***	/		
ŠAB	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	/		ŠAB	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	/	
BEO	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	ns	/	BEO	ns	ns	***	ns	ns	ns	ns	***	***	ns	***	/

Stepen statističke značajnosti: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$; ns – nije značajno

U odnosu na sadržaj Se u korenu *S. alba* izdvaja se lokalitet Litija ($p < 0,001$), kao značajno različit u odnosu na sve ostale lokalitete. Nisu ustanovljene značajne razlike u sadržaju Se u listovima ove vrste na istraživanim lokalitetima (Tabela 36).

Tabela 36. Razlike između lokaliteta u odnosu na sadržaj Se u korenu i listovima *S. alba*

	Sadržaj Se u korenu											Sadržaj Se u listovima													
	MOJ	RAD	LIT	VRH	ČAT	ZAG	JAS	SLB	ŽUP	SRM	ŠAB	BEO	MOJ	RAD	LIT	VRH	ČAT	ZAG	JAS	SLB	ŽUP	SRM	ŠAB	BEO	
MOJ	/												MOJ	/											
RAD	ns	/											RAD	ns	/										
LIT	***	***	/										LIT	ns	ns	/									
VRH	***	***	***	/									VRH	*	ns	*	/								
ČAT	ns	ns	***	***	/								ČAT	ns	*	ns	***	/							
ZAG	***	***	***	ns	***	/							ZAG	***	***	***	ns	***	/						
JAS	ns	ns	***	***	ns	***	/						JAS	ns	ns	ns	ns	*	***	/					
SLB	ns	ns	***	***	ns	***	*	/					SLB	ns	ns	ns	*	ns	***	ns	/				
ŽUP	**	***	***	***	***	***	***	*	/				ŽUP	ns	ns	ns	ns	***	**	ns	ns	/			
SRM	*	***	***	***	**	***	***	ns	ns	/			SRM	ns	ns	*	ns	***	ns	ns	*	ns	/		
ŠAB	***	***	***	***	***	***	***	**	ns	ns	/		ŠAB	ns	ns	ns	ns	**	***	ns	ns	ns	ns	/	
BEO	ns	ns	***	***	ns	***	*	ns	ns	ns	*	/	BEO	**	ns	**	ns	***	ns	ns	**	ns	ns	ns	/

Stepen statističke značajnosti: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$; ns – nije značajno

U odnosu na sadržaj Sr u korenu *S. alba* izdvajaju se Litija, Slavonski Brod, Sremska Mitrovica, Šabac i Beograd ($p < 0,05$, $p < 0,01$ i $p < 0,001$) kao statistički značajno različiti u odnosu na ostale analizirane lokalitete. Na osnovu sadržaja Sr u listovima svi lokaliteti se međusobno značajno razlikuju ($p < 0,05$, $p < 0,01$ i $p < 0,001$), osim Vrhova i Zagreba; Vrhova i Županje; kao i Zagreba i Županje (Tabela 37).

Tabela 37. Razlike između lokaliteta u odnosu na sadržaj Sr u korenu i listovima *S. alba*

	Sadržaj Sr u korenu											Sadržaj Sr u listovima													
	MOJ	RAD	LIT	VRH	ČAT	ZAG	JAS	SLB	ŽUP	SRM	ŠAB	BEO	MOJ	RAD	LIT	VRH	ČAT	ZAG	JAS	SLB	ŽUP	SRM	ŠAB	BEO	
MOJ	/												MOJ	/											
RAD	ns	/											RAD	***	/										
LIT	***	***	/										LIT	***	***	/									
VRH	***	***	***	/									VRH	***	***	***	/								
ČAT	***	***	***	***	/								ČAT	***	***	***	***	/							
ZAG	***	***	***	ns	***	/							ZAG	***	***	***	ns	***	/						
JAS	ns	ns	*	***	***	***	/						JAS	***	*	***	***	***	***	/					
SLB	***	***	***	*	***	***	***	/					SLB	***	***	***	***	***	***	***	/				
ŽUP	***	***	***	***	ns	***	***	***	/				ŽUP	***	***	***	ns	***	ns	***	***	/			
SRM	***	***	***	***	***	***	***	***	***	/			SRM	***	***	***	***	***	***	***	***	***	/		
ŠAB	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	/		ŠAB	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	/	
BEO	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	/	BEO	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	/

Stepen statističke značajnosti: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$; ns – nije značajno

Lokaliteti Jasenovac, Šabac i Beograd se izdvajaju ($p < 0,01$ i $p < 0,001$) od ostalih lokaliteta u odnosu na sadržaj Zn u korenu *S. alba*, dok se u odnosu na isti u listovima, svi lokaliteti međusobno značajno razlikuju ($p < 0,05$, $p < 0,01$ i $p < 0,001$) (Tabela 38).

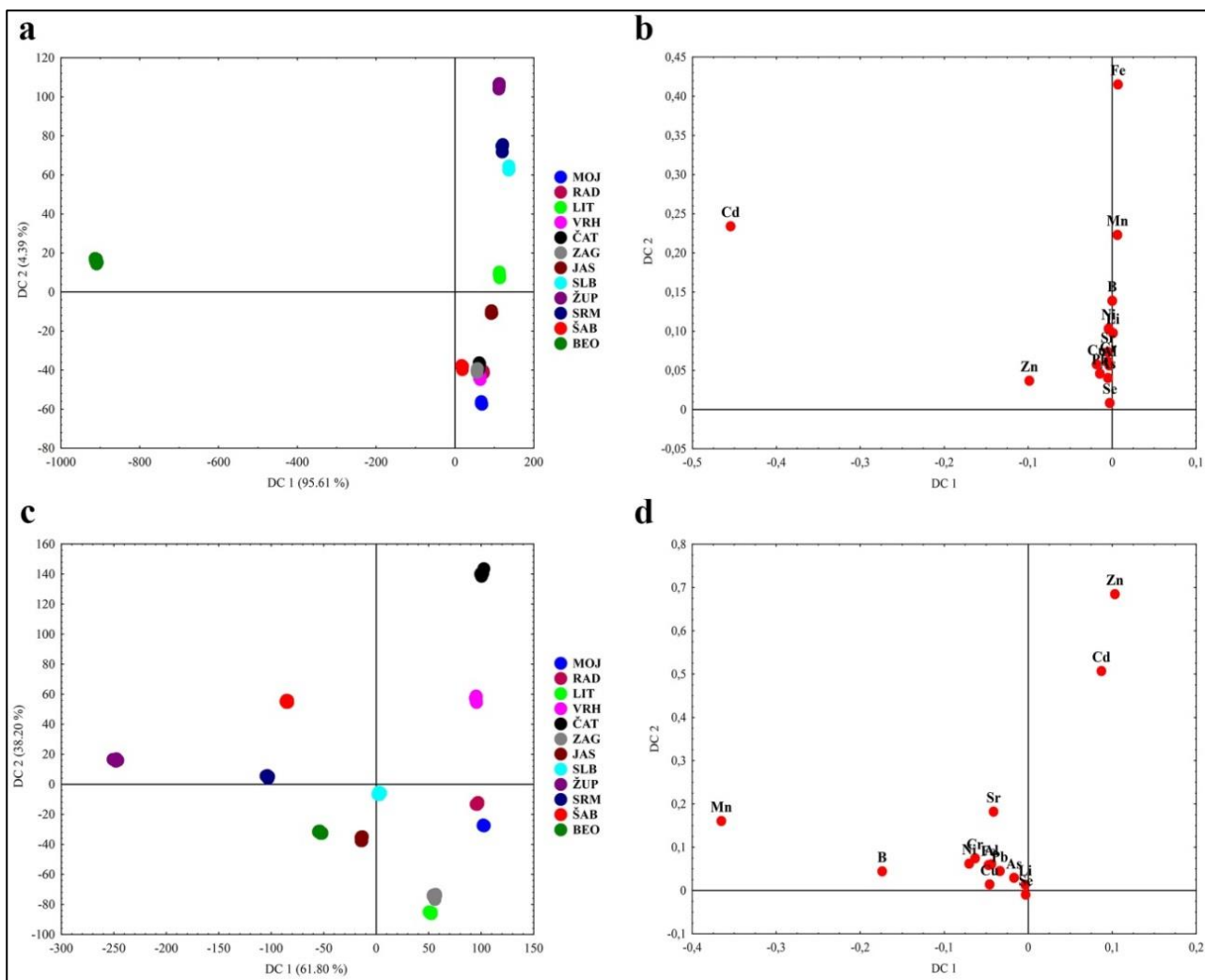
Tabela 38. Razlike između lokaliteta u odnosu na sadržaj Zn u korenu i listovima *S. alba*

	Sadržaj Zn u korenu											Sadržaj Zn u listovima												
	MOJ	RAD	LIT	VRH	ČAT	ZAG	JAS	SLB	ŽUP	SRM	ŠAB	BEO	MOJ	RAD	LIT	VRH	ČAT	ZAG	JAS	SLB	ŽUP	SRM	ŠAB	BEO
MOJ	/												MOJ	/										
RAD	***	/											RAD	***	/									
LIT	***	ns	/										LIT	***	***	/								
VRH	ns	***	***	/									VRH	***	***	***	/							
ČAT	***	***	***	***	/								ČAT	***	***	***	***	/						
ZAG	***	***	***	***	ns	/							ZAG	***	***	***	***	***	/					
JAS	***	***	**	***	***	***	/						JAS	***	***	***	***	***	***	/				
SLB	ns	***	***	ns	***	***	***	/					SLB	***	***	***	***	***	***	***	/			
ŽUP	***	***	***	***	ns	ns	***	***	/				ŽUP	***	***	***	***	***	*	***	/			
SRM	***	***	***	***	ns	***	***	***	***	/			SRM	***	***	***	***	***	***	***	***	/		
ŠAB	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	/		ŠAB	***	***	***	***	***	***	***	***	***	/	
BEO	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	/	BEO	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	/

Stepen statističke značajnosti: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$; ns – nije značajno

Razlike između lokaliteta u odnosu na ukupni sadržaj hemijskih elemenata (Al, As, B, Cd, Cr, Cu, Fe, Li, Mn, Ni, Pb, Se, Sr, Zn) u korenu su takođe određene primenom kanonijske diskriminantne analize (Slika 35). Lokaliteti na kojima je uzorkovana vrsta *S. alba* su jasno razdvojeni na osnovu prve diskriminantne ose (DC1) koja objašnjava 95,61% razlika, gde najveći uticaj na razdvajanje imaju Cd i Zn. Na drugu diskriminantnu osu (DC2) koja opisuje samo 4,39% varijabilnosti, uticaj imaju Fe i Mn. Kao rezultat jasno se odvajaju lokalitet Beograd po sadržaju Cd i Zn u korenu *S. alba* u odnosu na ostale istraživane lokalitete (Slika 35a i 35b).

Isto tako, kanonijska diskriminantna analiza je pokazala razlike između lokaliteta u odnosu na ukupni sadržaj navedenih hemijskih elemenata u listovima. Lokaliteti na kojima je uzorkovana vrsta *S. alba* su jasno razdvojeni na osnovu prve diskriminantne ose (DC1) koja objašnjava 61,80% razlika, gde najveći uticaj na razdvajanje imaju B i Mn. Na drugu diskriminantnu osu (DC2) koja opisuje 38,20% razlika uticaj imaju Zn i Cd. Na taj način, jasno se odvajaju lokaliteti Vrhovo i Čatež u odnosu na akumulaciju Zn i Cd u listovima, kao i Županja, Sremska Mitrovica i Šabac usled akumulacije ostalih hemijskih elemenata, posebno Mn, B i Sr (Slika 35c i 35d).



Slika 35. Razlike između lokaliteta u odnosu na sadržaj hemijskih elemenata u korenu i listu vrste *Salix alba*: a) razdvajanje lokaliteta na osnovu sadržaja hemijskih elemenata u korenu; b) uticaj ispitivanih elemenata na razlike između lokaliteta; c) razdvajanje lokaliteta na osnovu sadržaja hemijskih elemenata u listovima; d) uticaj ispitivanih elemenata na razlike između lokaliteta.

4.4.2. *Populus nigra*

Sadržaj ispitivanih hemijskih elemenata u listu i korenu *P. nigra* predstavljen je u Tabelama 39 i 40. Prosečan sadržaj elemenata u korenu varirao je u sledećem nizu: Fe > Al > Mn > Zn > Sr > B > Cu > Li > Cr > Ni > Pb > As > Se > Cd, dok je prosečan sadržaj elemenata u listu varirao u nizu: Zn > Sr > Fe > Al > B > Mn > Cu > As > Cd > Se > Pb > Ni > Cr > Li.

Sadržaj Al u korenu *P. nigra* varirao je u opsegu od 238,63 mg kg⁻¹ u Vrhovu, do 873,50 mg kg⁻¹ u Šapcu (Tabela 39). U listovima vrste *P. nigra* sadržaj Al se kretao u opsegu od 10,50 mg kg⁻¹ koliko je izmereno u Beogradu, do 231,15 mg kg⁻¹ u Jasenovcu (Tabela 40). Nije uočena pravilnost u izmerenom sadržaju ovog elementa u korenu i listovima *P. nigra* od izvora ka ušću.

U korenu vrste *P. nigra* sadržaj As je bio ispod nivoa detekcije aparata na većini lokaliteta, izuzev u Mojstrani (2,12 mg kg⁻¹), Vrhovu (5,38 mg kg⁻¹), i Čatežu (5,19 mg kg⁻¹) (Tabela 39). Takođe, sadržaj As u listovima ove vrste nije izmeren na lokalitetima u gornjem delu toka reke Save, od Mojstrane do Zagreba, a najviši sadržaj je izmeren u Beogradu (3,17 mg kg⁻¹). Rezultati pokazuju da se sadržaj As u listovima *P. nigra* povećava od izvora ka ušću, sa manjim odstupanjem u Šapcu (Tabela 40).

Izmeren sadržaj B u korenu *P. nigra* kretao se od 7,53 mg kg⁻¹ u Vrhovu, do 23,28 mg kg⁻¹ u Beogradu. Takođe, uočeno je povećanje sadržaja ovog elementa u korenu *P. nigra*, od izvora ka ušću reke (Tabela 39). Sadržaj B se u listovima kretao u opsegu od 26,42 mg kg⁻¹ u Vrhovu, do 104,28 mg kg⁻¹ u Sremskoj Mitrovici (Tabela 40).

Kadmijum je u korenu *P. nigra* varirao u uskom opsegu, od 0,26 mg kg⁻¹ u Mojstrani i Vrhovu, do 1,03 mg kg⁻¹ u Šapcu (Tabela 39). U listovima ove vrste, sadržaj Cd je bio ispod nivoa detekcije aparata na lokalitetima Mojstrana i Vrhovo, do 2,06 mg kg⁻¹ u Čatežu (Tabela 40). Sadržaj Cd u korenu i listovima vrste *P. nigra* je bio ujednačen u uzorcima na ispitivanim lokalitetima.

Sadržaj Cr u korenu *P. nigra* kretao se od 2,27 mg kg⁻¹ na lokalitetu Zagreb, do 7,35 mg kg⁻¹ u Šapcu (Tabela 39). Sa druge strane, sadržaj Cr u listovima ove vrste je bio ispod nivoa detekcije aparata na većini analiziranih lokaliteta, osim u Jasenovcu (0,32 mg kg⁻¹), Vrhovu i Čatežu (po 0,22 mg kg⁻¹) (Tabela 40).

Izmereni sadržaj Cu u korenu vrste *P. nigra* je varirao u opsegu od 4,03 mg kg⁻¹ u Čatežu do 10,33 mg kg⁻¹ u Mojstrani (Tabela 39). Slično, sadržaj Cu u listovima ove vrste se kretao od 4,06 mg kg⁻¹ u Beogradu do 7,06 mg kg⁻¹ u Jasenovcu (Tabela 40).

Sadržaj Fe u korenu *P. nigra* je varirao u veoma širokom opsegu, od 261,36 mg kg⁻¹ u Čatežu, do 2035,13 mg kg⁻¹ u Šapcu, što ukazuje na trend povećanja sadržaja ovog elementa od izvora ka ušću reke Save (Tabela 39). Sadržaj Fe u listovima je varirao od 27,88 mg kg⁻¹ u Zagrebu, do 202,96 mg kg⁻¹ u Jasenovcu (Tabela 40).

Najveći sadržaj Li u korenu *P. nigra* je izmeren u Šapcu (13,90 mg kg⁻¹), dok je u Mojstrani, Vrhovu, Čatežu, Zagrebu i Županji bio ispod nivoa detekcije aparata. Rezultati pokazuju, da se sadržaj Li u korenu povećava na lokalitetima u donjem toku reke Save (Tabela 39). Sa druge strane, u uzorcima listova *P. nigra*, sadržaj Li je bio ispod nivoa detekcije aparata (Tabela 40).

Izmereni sadržaj Mn u korenu vrste *P. nigra* je varirao u širokom opsegu, od 7,69 mg kg⁻¹ u Čatežu, do 99,07 mg kg⁻¹ u Beogradu, uz jasan gradijent povećanja od izvora do ušća (Tabela 39). Sadržaji Mn u listovima se kretao od 7,89 mg kg⁻¹ u Mojstrani, do 86,99 mg kg⁻¹ u Jasenovcu (Tabela 40).

Na analiziranim lokalitetima izmereni sadržaj Ni u korenu *P. nigra*, kretao se u uskom opsegu, od 0,75 mg kg⁻¹ na lokalitetima Vrhovo i Čatež, do 7,94 mg kg⁻¹ u Šapcu. Rezultati ukazuju na povećanje sadržaja ovog elementa od izvora do ušća (Tabela 39). Sa druge strane, sadržaj Ni u listovima je bio ispod nivoa detekcije u Mojstrani, Vrhovu, Zagrebu i Beogradu, dok je najviši sadržaj ovog elementa izmeren u uzorcima listova iz Županje (2,04 mg kg⁻¹) (Tabela 40).

Sadržaj Pb u korenu *P. nigra* je bio u opsegu od 1,23 mg kg⁻¹ u Zagrebu, do 4,33 mg kg⁻¹ u Šapcu (Tabela 39). Međutim, sadržaj ovog elementa u listovima je izmeren samo u uzorcima sa lokaliteta u gornjem i srednjem delu rečnog toka, dok je na lokalitetima u donjem delu toka bio

ispod nivoa detekcije aparata. Najviši izmeren nivo Pb u listovima *P. nigra* je izmeren u Čatežu ($3,15 \text{ mg kg}^{-1}$) (Tabela 40).

Najniži sadržaj Se u korenu *P. nigra* je izmeren na lokalitetu Šabac ($0,83 \text{ mg kg}^{-1}$), dok je najviši sadržaj izmeren u Čatežu ($1,69 \text{ mg kg}^{-1}$) (Tabela 39). Selen je u listovima ove vrste izmeren samo na lokalitetima gornjeg dela rečnog toka, od Mojstrane do Zagreba. Najviši sadržaj ovog elementa u listovima je izmeren u Mojstrani ($1,92 \text{ mg kg}^{-1}$) (Tabela 40).

U korenu vrste *P. nigra*, sadržaj Sr se kretao u opsegu od $18,2 \text{ mg kg}^{-1}$ u Vrhovu, do $53,11 \text{ mg kg}^{-1}$ u Šapcu. Takođe, rezultati pokazuju da se sadržaj ovog elementa u korenu povećava od izvora ka ušću reke Save (Tabela 39). Izmereni nivo Sr u listovima je bio u opsegu od $38,71 \text{ mg kg}^{-1}$ u Vrhovu, do $113,11 \text{ mg kg}^{-1}$ u Sremskoj Mitrovici (Tabela 40).

Izmereni sadržaj Zn u korenu *P. nigra* varirao je između $11,05 \text{ mg kg}^{-1}$ u Vrhovu, i $85,93 \text{ mg kg}^{-1}$ u Beogradu (Tabela 39). Sa druge strane, sadržaj Zn u listovima ove vrste je imao nešto širi opseg variranja, od $10,43 \text{ mg kg}^{-1}$ u Sremskoj Mitrovici, do $207,77 \text{ mg kg}^{-1}$ u Šapcu (Tabela 40).

Tabela 39. Sadržaj elemenata u korenu *P. nigra*; srednja vrednost i standardna devijacija u zagradi; vrednosti su izražene u mg kg⁻¹

Lokalitet	Al	As	B	Cd	Cr	Cu	Fe	Li	Mn	Ni	Pb	Se	Sr	Zn
MOJ	743,27 (10,57)	2,12 (0,44)	10,47 (0,44)	0,26 (0,00)	5,34 (1,11)	10,33 (0,86)	719,36 (46,55)	<LoQ	21,77 (0,52)	2,46 (0,47)	4,04 (0,26)	1,33 (0,42)	22,83 (2,41)	19,67 (2,17)
VRH	238,63 (127,84)	5,38 (0,17)	7,53 (1,04)	0,26 (0,00)	4,22 (1,30)	5,84 (0,55)	458,67 (52,53)	<LoQ	18,43 (1,31)	0,75 (0,38)	1,56 (0,69)	1,31 (0,25)	18,20 (2,56)	11,05 (0,86)
ČAT	240,59 (27,17)	5,19 (0,24)	7,97 (0,26)	0,30 (0,11)	3,90 (0,00)	4,03 (0,07)	261,36 (1,27)	<LoQ	7,69 (0,07)	0,75 (0,11)	3,04 (0,61)	1,69 (0,43)	29,64 (0,75)	25,54 (0,26)
ZAG	330,96 (23,97)	<LoQ	12,75 (0,08)	0,69 (0,13)	2,27 (0,12)	7,08 (0,09)	399,44 (23,97)	<LoQ	13,56 (0,00)	0,96 (0,11)	1,23 (0,23)	1,61 (0,80)	43,10 (0,35)	49,68 (0,46)
JAS	850,50 (142,83)	<LoQ	13,33 (0,22)	0,69 (0,13)	3,93 (0,21)	5,25 (0,09)	941,50 (49,32)	7,38 (0,54)	44,10 (2,76)	1,50 (0,11)	1,41 (0,18)	1,22 (0,51)	37,58 (1,55)	61,16 (4,26)
ŽUP	300,82 (7,82)	<LoQ	17,49 (0,16)	0,43 (0,13)	2,60 (0,00)	8,50 (0,15)	465,24 (10,13)	<LoQ	30,73 (0,52)	4,71 (0,00)	1,26 (0,23)	1,17 (0,27)	25,13 (0,10)	27,19 (0,43)
SRM	787,81 (18,34)	<LoQ	14,65 (0,22)	0,52 (0,00)	4,75 (0,00)	7,40 (0,08)	1269,47 (3,15)	8,93 (0,48)	59,57 (1,58)	6,34 (0,22)	2,59 (0,28)	1,00 (0,36)	33,58 (0,09)	25,81 (0,52)
ŠAB	873,50 (121,59)	<LoQ	16,62 (0,14)	1,03 (0,00)	7,35 (0,79)	9,79 (0,00)	2035,13 (9,69)	13,90 (0,53)	69,54 (1,82)	7,94 (0,08)	4,33 (0,39)	0,83 (0,38)	53,11 (3,99)	53,11 (3,99)
BEO	478,65 (72,18)	<LoQ	23,28 (0,40)	0,52 (0,00)	3,61 (0,56)	8,45 (0,13)	1577,87 (6,89)	9,78 (1,05)	99,07 (3,66)	5,36 (0,08)	2,11 (0,23)	1,00 (0,09)	51,82 (1,01)	85,93 (1,73)
Srednja vrednost za ceo tok	538,30	1,41	13,79	0,52	4,22	7,37	903,12	4,44	40,50	3,42	2,40	1,24	33,26	39,90
Deficit^a	-	-	20-70	-	-	2-5	<50	-	-	-	-	-	-	10-20
Normalni opseg^a	-	1-1,7	10-100	0,002-1	0,1-0,5	5-30	-	3-5	30-300	0,1-5	0,2-10	0,01-2	1-10	27-150
Toksičan opseg^a	-	5-20	>50	5-30	5-30	20-100	>300	5-50	400-1000	10-100	30-300	5-30	>30	100-400

^a Kabata-Pendias 2011; vrednosti u opsegu koncentracija toksičnih za biljke su u bold formatu; vrednosti u opsegu koncentracija deficita su osenčene; <LoQ – ispod nivoa detekcije

Tabela 40. Sadržaj elemenata u listovima *P. nigra*; srednja vrednost i standardna devijacija u zagradi; vrednosti su izražene u mg kg⁻¹

Lokalitet	Al	As	B	Cd	Cr	Cu	Fe	Li	Mn	Ni	Pb	Se	Sr	Zn
MOJ	40,08 (2,56)	<LoQ	43,17 (0,62)	<LoQ	<LoQ	5,62 (0,38)	46,53 (1,65)	<LoQ	7,89 (0,00)	<LoQ	0,73 (0,29)	1,92 (0,36)	47,88 (0,55)	42,88 (4,74)
VRH	57,28 (3,91)	<LoQ	26,42 (0,40)	<LoQ	0,22 (0,00)	6,79 (0,17)	52,51 (0,41)	<LoQ	44,18 (0,86)	<LoQ	0,28 (0,09)	1,18 (0,44)	38,71 (0,55)	24,08 (1,88)
ČAT	72,31 (4,26)	<LoQ	41,95 (0,09)	2,06 (0,00)	0,22 (0,00)	4,78 (0,08)	80,18 (1,37)	<LoQ	21,80 (0,37)	0,20 (0,00)	3,15 (1,12)	1,78 (0,46)	63,80 (0,37)	135,23 (0,68)
ZAG	17,41 (3,78)	<LoQ	63,55 (0,61)	1,29 (0,00)	<LoQ	4,36 (0,16)	27,88 (1,00)	<LoQ	12,44 (0,20)	<LoQ	0,30 (0,08)	1,78 (0,52)	65,77 (1,03)	122,00 (1,05)
JAS	231,15 (29,88)	2,56 (0,23)	55,26 (0,28)	1,03 (0,00)	0,32 (0,12)	7,06 (0,14)	202,96 (5,20)	<LoQ	86,99 (0,37)	0,27 (0,11)	0,30 (0,08)	<LoQ	50,85 (0,76)	74,59 (0,34)
ŽUP	51,12 (4,48)	2,40 (0,89)	66,02 (0,20)	1,29 (0,00)	<LoQ	6,27 (0,13)	46,76 (1,05)	<LoQ	65,35 (0,43)	2,04 (0,13)	<LoQ	<LoQ	96,15 (0,39)	94,73 (0,97)
SRM	44,18 (1,95)	2,82 (0,94)	104,28 (0,99)	0,52 (0,00)	<LoQ	4,17 (0,00)	36,51 (0,41)	<LoQ	52,13 (1,03)	0,20 (0,00)	<LoQ	<LoQ	113,11 (1,01)	10,43 (0,89)
ŠAB	28,10 (2,78)	1,76 (0,28)	74,90 (0,58)	1,55 (0,00)	<LoQ	6,03 (0,16)	41,10 (0,94)	<LoQ	68,84 (0,79)	0,51 (0,00)	<LoQ	<LoQ	64,64 (0,50)	207,77 (3,54)
BEO	10,50 (3,64)	3,17 (0,49)	37,94 (0,52)	0,77 (0,00)	<LoQ	4,06 (0,08)	29,00 (1,19)	<LoQ	29,31 (0,57)	<LoQ	<LoQ	<LoQ	48,93 (0,33)	50,93 (1,21)
Srednja vrednost za ceo tok	61,35	1,41	57,05	0,94	0,08	5,46	62,60	-	43,21	0,36	0,53	0,74	65,51	84,74
Deficit^a	-	-	20-70	-	-	2-5	<50	-	-	-	-	-	-	10-20
Normalni opseg^a	-	1-1,7	10-100	0,002-1	0,1-0,5	5-30	-	3-5	30-300	0,1-5	0,2-10	0,01-2	1-10	27-150
Toksičan opseg^a	-	5-20	>50	5-30	5-30	20-100	>300	5-50	400-1000	10-100	30-300	5-30	>30	100-400

^a Kabata-Pendias 2011; vrednosti u opsegu koncentracija toksičnih za biljke su u bold formatu; vrednosti u opsegu koncentracija deficita su osenčene
<LoQ – ispod nivoa detekcije

Razlike u sadržaju hemijskih elemenata u korenu i listovima *P. nigra* na ispitivanim lokalitetima su predstavljene u Tabelama 41-55. Pokazalo se da lokalitet ima značajan uticaj na varijabilnost sadržaja hemijskih elemenata u korenu i listovima *P. nigra* ($p < 0,001$), izuzev na varijabilnost sadržaja Se u korenu ($p = 0,02$) (Tabela 41). Dominantan uticaj lokaliteta je utvrđen za sadržaj As, Li, Ni i Pb u korenu, kao i za sadržaj Al, B, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Se, Sr i Zn u listovima. Sadržaj Li u listovima je bio ispod nivoa detekcije aparata, stoga uticaj lokaliteta na akumulaciju ovog elementa u listovima nije mogao biti procenjen.

Tabela 41. Uticaj lokaliteta kao faktora varijabilnosti (F) na razlike u sadržaju hemijskih elemenata u korenu i listovima *P. nigra*

	Biljni delovi	Koren		List	
	Faktor varijabilnosti i stepen značajnosti	F	p	F	p
Potencijalno toksični elementi	Al	68,6	***	241,2	***
	As	67,4	***	51,3	***
	B	810,4	***	11278,0	***
	Cd	53,7	***	9562598,9	***
	Cr	31,5	***	65,1	***
	Cu	204,8	***	263,5	***
	Fe	2440,8	***	4468,9	***
	Li	865,8	***	/	
	Mn	1716,9	***	12425,6	***
	Ni	875,3	***	407,0	***
	Pb	57,4	***	40,8	***
	Se	2,6	0,02	54,6	***
	Sr	349,4	***	8171,7	***
Zn	725,2	***	4877,3	***	

Osenčene su vrednosti dominantnog faktora varijabilnosti (F) za analizirani element
F - faktor varijabilnosti; **p** - stepen značajnosti: *** $p < 0,001$

Ni jedan lokalitet se nije posebno izdvojio u odnosu na sadržaj Al u korenu *P. nigra*, ali su ustanovljene pojedinačne razlike između lokaliteta (Tabela 42). Sa druge strane, u odnosu na sadržaj Al u listovima, izdvojen je Jasenovac, kao statistički značajno različit u odnosu na sve ostale istraživane lokalitete ($p < 0,001$) (Tabela 42).

Tabela 42. Razlike između lokaliteta u odnosu na sadržaj Al u korenu i listovima vrste *P. nigra*

Sadržaj Al u korenu										Sadržaj Al u listovima									
	MOJ	VRH	ČAT	ZAG	JAS	ŽUP	SRM	ŠAB	BEO		MOJ	VRH	ČAT	ZAG	JAS	ŽUP	SRM	ŠAB	BEO
MOJ	/									MOJ	/								
VRH	***	/								VRH	ns	/							
ČAT	***	ns	/							ČAT	***	ns	/						
ZAG	***	ns	ns	/						ZAG	*	***	***	/					
JAS	ns	***	***	***	/					JAS	***	***	***	***	/				
ŽUP	***	ns	ns	ns	***	/				ŽUP	ns	ns	ns	***	***	/			
SRM	ns	***	***	***	ns	***	/			SRM	ns	ns	**	**	***	ns	/		
ŠAB	ns	***	***	***	ns	***	ns	/		ŠAB	ns	***	***	ns	***	*	ns	/	
BEO	***	***	***	ns	***	*	***	***	/	BEO	***	***	***	ns	***	***	***	ns	/

Stepen statističke značajnosti: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$; ns – nije značajno

Po sadržaju As u korenu vrste *P. nigra*, značajno se razlikuju lokaliteti donjeg i srednjeg dela toka (od Zagreba do Beograda), od lokaliteta u gornjem delu toka (Mojstrana, Vrhovo i Čatež) ($p < 0,001$). Slične relacije su utvrđene i u odnosu na sadržaj As u listovima. Lokaliteti Jasenovac, Županja, Sremska Mitrovica, Šabac i Beograd se značajno razlikuju od Mojstrane, Vrhova, Čateža i Zagreba (Tabela 43).

Tabela 43. Razlike između lokaliteta u odnosu na sadržaj As u korenu i listovima vrste *P. nigra*

Sadržaj As u korenu									Sadržaj As u listovima										
	MOJ	VRH	ČAT	ZAG	JAS	ŽUP	SRM	ŠAB	BEO		MOJ	VRH	ČAT	ZAG	JAS	ŽUP	SRM	ŠAB	BEO
MOJ	/									MOJ	/								
VRH	***	/								VRH	ns	/							
ČAT	***	ns	/							ČAT	ns	ns	/						
ZAG	***	***	***	/						ZAG	ns	ns	ns	/					
JAS	***	***	***	ns	/					JAS	***	***	***	***	/				
ŽUP	***	***	***	ns	ns	/				ŽUP	***	***	***	***	ns	/			
SRM	***	***	***	ns	ns	ns	/			SRM	***	***	***	***	ns	ns	/		
ŠAB	***	***	***	ns	ns	ns	ns	/		ŠAB	***	***	***	***	ns	ns	**	/	
BEO	***	***	***	ns	ns	ns	ns	ns	/	BEO	***	***	***	***	ns	ns	ns	***	/

Stepen statističke značajnosti: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$; ns – nije značajno

U odnosu na sadržaj B u korenu *P. nigra*, utvrđene su statistički značajne razlike ($p < 0,05$, $p < 0,01$ i $p < 0,001$) između lokaliteta, izuzev između lokaliteta Vrhovo i Čatež i Zagreb i Jasenovac. U odnosu na izmeren sadržaj B u listovima ove vrste, svi lokaliteti se međusobno značajno razlikuju ($p < 0,01$, $p < 0,001$) (Tabela 44).

Tabela 44. Razlike između lokaliteta u odnosu na sadržaj B u korenu i listovima vrste *P. nigra*

Sadržaj B u korenu									Sadržaj B u listovima										
	MOJ	VRH	ČAT	ZAG	JAS	ŽUP	SRM	ŠAB	BEO		MOJ	VRH	ČAT	ZAG	JAS	ŽUP	SRM	ŠAB	BEO
MOJ	/									MOJ	/								
VRH	***	/								VRH	***	/							
ČAT	***	ns	/							ČAT	**	***	/						
ZAG	***	***	***	/						ZAG	***	***	***	/					
JAS	***	***	***	ns	/					JAS	***	***	***	***	/				
ŽUP	***	***	***	***	***	/				ŽUP	***	***	***	***	***	/			
SRM	***	***	***	***	***	***	/			SRM	***	***	***	***	***	***	/		
ŠAB	***	***	***	***	***	*	***	/		ŠAB	***	***	***	***	***	***	***	/	
BEO	***	***	***	***	***	***	***	***	/	BEO	***	***	***	***	***	***	***	***	/

Stepen statističke značajnosti: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$; ns – nije značajno

U odnosu na sadržaj Cd u korenu *P. nigra*, izdvaja se Šabac, kao statistički značajno različit u odnosu na ostale istraživane lokalitete ($p < 0,001$), dok se u odnosu na sadržaj Cd u listovima svi lokaliteti međusobno razlikuju ($p < 0,001$), sa izuzetkom Mojstrane i Vrhova, kao i Zagreba i Županje (Tabela 45).

Tabela 45. Razlike između lokaliteta u odnosu na sadržaj Cd u korenu i listovima vrste *P. nigra*

Sadržaj Cd u korenu								Sadržaj Cd u listovima											
	MOJ	VRH	ČAT	ZAG	JAS	ŽUP	SRM	ŠAB	BEO		MOJ	VRH	ČAT	ZAG	JAS	ŽUP	SRM	ŠAB	BEO
MOJ	/									MOJ	/								
VRH	ns	/								VRH	ns	/							
ČAT	ns	ns	/							ČAT	***	***	/						
ZAG	***	***	***	/						ZAG	***	***	***	/					
JAS	***	***	***	ns	/					JAS	***	***	***	***	/				
ŽUP	*	*	ns	***	***	/				ŽUP	***	***	***	ns	***	/			
SRM	***	***	**	*	*	ns	/			SRM	***	***	***	***	***	***	/		
ŠAB	***	***	***	***	***	***	***	/		ŠAB	***	***	***	***	***	***	***	/	
BEO	***	***	**	*	*	ns	ns	***	/	BEO	***	***	***	***	***	***	***	***	/

Stepen statističke značajnosti: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$; ns – nije značajno

U odnosu na sadržaj Cr u korenu *P. nigra*, lokalitet Šabac se statistički značajno razlikuje od ostalih lokaliteta ($p < 0,001$), dok se u odnosu na sadržaj ovog elementa u listovima izdvaja lokalitet Jasenovac ($p < 0,001$). Pored toga, utvrđeno je da nema razlika u sadržaju Cr u listovima između lokaliteta donjeg dela rečnog toka (Županja, Sremska Mitrovica, Šabac i Beograd) (Tabela 46).

Tabela 46. Razlike između lokaliteta u odnosu na sadržaj Cr u korenu i listovima vrste *P. nigra*

Sadržaj Cr u korenu								Sadržaj Cr u listovima											
	MOJ	VRH	ČAT	ZAG	JAS	ŽUP	SRM	ŠAB	BEO		MOJ	VRH	ČAT	ZAG	JAS	ŽUP	SRM	ŠAB	BEO
MOJ	/									MOJ	/								
VRH	ns	/								VRH	***	/							
ČAT	*	ns	/							ČAT	***	ns	/						
ZAG	***	***	**	/						ZAG	ns	***	***	/					
JAS	*	ns	ns	**	/					JAS	***	***	***	***	/				
ŽUP	***	**	*	ns	*	/				ŽUP	ns	***	***	ns	***	/			
SRM	ns	ns	ns	***	ns	**	/			SRM	ns	***	***	ns	***	ns	/		
ŠAB	***	***	***	***	***	***	***	/		ŠAB	ns	***	***	ns	***	ns	ns	/	
BEO	**	ns	ns	*	ns	ns	ns	***	/	BEO	ns	***	***	ns	***	ns	ns	ns	/

Stepen statističke značajnosti: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$; ns – nije značajno

U odnosu na sadržaj Cu u korenu *P. nigra*, svi lokaliteti se međusobno značajno razlikuju ($p < 0,01$ i $p < 0,001$) sa izuzetkom Vrhova i Jasenovca, Zagreba i Sremske Mitrovice, kao i Županje i Beograda. U odnosu na sadržaj Cu u listovima ove vrste, izdvajaju se lokaliteti Mojstrana i Čatež ($p < 0,01$ i $p < 0,001$) kao statistički značajno različiti u odnosu na ostale istraživane lokalitete (Tabela 47).

Tabela 47. Razlike između lokaliteta u odnosu na sadržaj Cu u korenu i listovima vrste *P. nigra*

Sadržaj Cu u korenu									Sadržaj Cu u listovima										
	MOJ	VRH	ČAT	ZAG	JAS	ŽUP	SRM	ŠAB	BEO		MOJ	VRH	ČAT	ZAG	JAS	ŽUP	SRM	ŠAB	BEO
MOJ	/									MOJ	/								
VRH	***	/								VRH	***	/							
ČAT	***	***	/							ČAT	***	***	/						
ZAG	***	***	***	/						ZAG	***	***	**	/					
JAS	***	ns	***	***	/					JAS	***	ns	***	***	/				
ŽUP	***	***	***	***	***	/				ŽUP	***	***	***	***	***	/			
SRM	***	***	***	ns	***	***	/			SRM	***	***	***	ns	***	***	/		
ŠAB	**	***	***	***	***	***	***	/		ŠAB	**	***	***	***	***	ns	***	/	
BEO	***	***	***	***	***	ns	***	***	/	BEO	***	***	***	ns	***	***	ns	***	/

Stepen statističke značajnosti: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$; ns – nije značajno

Svi lokaliteti se međusobno značajno razlikuju ($p < 0,05$, $p < 0,01$ i $p < 0,001$) u odnosu na sadržaj Fe u korenu *P. nigra*, izuzev Vrhova i Županje. Slični odnosi su utvrđeni i u odnosu na sadržaj Fe u listovima; analizirani lokaliteti se međusobno značajno razlikuju ($p < 0,01$ i $p < 0,001$), osim Mojstrane i Županje, Zagreba i Beograda (ns) (Tabela 48).

Tabela 48. Razlike između lokaliteta u odnosu na sadržaj Fe u korenu i listovima vrste *P. nigra*

Sadržaj Fe u korenu									Sadržaj Fe u listovima										
	MOJ	VRH	ČAT	ZAG	JAS	ŽUP	SRM	ŠAB	BEO		MOJ	VRH	ČAT	ZAG	JAS	ŽUP	SRM	ŠAB	BEO
MOJ	/									MOJ	/								
VRH	***	/								VRH	***	/							
ČAT	***	***	/							ČAT	***	***	/						
ZAG	***	*	***	/						ZAG	***	***	***	/					
JAS	***	***	***	***	/					JAS	***	***	***	***	/				
ŽUP	***	ns	***	*	***	/				ŽUP	ns	***	***	***	***	/			
SRM	***	***	***	***	***	***	/			SRM	***	***	***	***	***	***	/		
ŠAB	***	***	***	***	***	***	***	/		ŠAB	***	***	***	***	***	***	**	/	
BEO	***	***	***	***	***	***	***	***	/	BEO	***	***	***	ns	***	***	***	***	/

Stepen statističke značajnosti: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$; ns – nije značajno

U odnosu na sadržaj Li u korenu vrste *P. nigra*, izdvajaju se lokaliteti Jasenovac i Šabac kao statistički značajno različiti u odnosu na ostale istraživane lokalitete ($p < 0,001$). Pored toga, utvrđena je sličnost između Mojstrane, Vrhova, Čateža i Zagreba (Tabela 49). Sadržaj Li nije izmeren u listovima ove vrste.

Tabela 49. Razlike između lokaliteta u odnosu na sadržaj Li u korenu vrste *P. nigra*

Sadržaj Li u korenu									
	MOJ	VRH	ČAT	ZAG	JAS	ŽUP	SRM	ŠAB	BEO
MOJ	/								
VRH	ns	/							
ČAT	ns	ns	/						
ZAG	ns	ns	ns	/					
JAS	***	***	***	***	/				
ŽUP	ns	ns	ns	ns	***	/			
SRM	***	***	***	***	***	***	/		
ŠAB	***	***	***	***	***	***	***	/	
BEO	***	***	***	***	***	***	ns	***	/

Stepen statističke značajnosti: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$; ns – nije značajno

U odnosu na sadržaj Mn u korenu i listovima vrste *P. nigra*, svi lokaliteti se međusobno značajno razlikuju ($p < 0,001$). Izuzetak su Mojstrana i Vrhovo, koji imaju sličan sadržaj ovog elementa u korenu (ns) (Tabela 50).

Tabela 50. Razlike između lokaliteta u odnosu na sadržaj Mn u korenu i listovima vrste *P. nigra*

Sadržaj Mn u korenu									Sadržaj Mn u listovima										
	MOJ	VRH	ČAT	ZAG	JAS	ŽUP	SRM	ŠAB	BEO	MOJ	VRH	ČAT	ZAG	JAS	ŽUP	SRM	ŠAB	BEO	
MOJ	/									MOJ	/								
VRH	ns	/								VRH	***	/							
ČAT	***	***	/							ČAT	***	***	/						
ZAG	***	***	***	/						ZAG	***	***	***	/					
JAS	***	***	***	***	/					JAS	***	***	***	***	/				
ŽUP	***	***	***	***	***	/				ŽUP	***	***	***	***	***	/			
SRM	***	***	***	***	***	***	/			SRM	***	***	***	***	***	***	/		
ŠAB	***	***	***	***	***	***	***	/		ŠAB	***	***	***	***	***	***	***	/	
BEO	***	***	***	***	***	***	***	***	/	BEO	***	***	***	***	***	***	***	***	/

Stepen statističke značajnosti: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$; ns – nije značajno

U odnosu na sadržaj Ni u korenu vrste *P. nigra*, između lokaliteta Vrhovo, Čatež i Zagreb nema značajnih razlika (ns), dok se svi ostali lokaliteti međusobno značajno razlikuju ($p < 0,001$). Sa druge strane, lokaliteti Županja i Šabac se izdvajaju u odnosu na izmereni sadržaj Ni u listovima, kao statistički značajno različiti u odnosu na ostale istraživane lokalitete ($p < 0,001$) (Tabela 51).

Tabela 51. Razlike između lokaliteta u odnosu na sadržaj Ni u korenu i listovima vrste *P. nigra*

Sadržaj Ni u korenu								Sadržaj Ni u listovima											
	MOJ	VRH	ČAT	ZAG	JAS	ŽUP	SRM	ŠAB	BEO		MOJ	VRH	ČAT	ZAG	JAS	ŽUP	SRM	ŠAB	BEO
MOJ	/									MOJ	/								
VRH	***	/								VRH	ns	/							
ČAT	***	ns	/							ČAT	**	**	/						
ZAG	***	ns	ns	/						ZAG	ns	ns	**	/					
JAS	***	***	***	**	/					JAS	***	***	ns	***	/				
ŽUP	***	***	***	***	***	/				ŽUP	***	***	***	***	***	/			
SRM	***	***	***	***	***	***	/			SRM	**	**	ns	**	ns	***	/		
ŠAB	***	***	***	***	***	***	***	/		ŠAB	***	***	***	***	***	***	***	/	
BEO	***	***	***	***	***	***	***	***	/	BEO	ns	ns	**	ns	***	***	**	***	/

Stepen statističke značajnosti: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$; ns – nije značajno

U odnosu na sadržaj Pb u korenu *P. nigra*, generalno nije izdvojen ni jedan lokalitet kao statistički značajno različit u odnosu na ostale, ali su ustanovljene pojedninačne razlike između lokaliteta (Tabela 52). Sa druge strane, u odnosu na sadržaj Pb u listovima, izdvojen je Čatež ($p < 0,001$) (Tabela 52).

Tabela 52. Razlike između lokaliteta u odnosu na sadržaj Pb u korenu i listovima vrste *P. nigra*

Sadržaj Pb u korenu								Sadržaj Pb u listovima											
	MOJ	VRH	ČAT	ZAG	JAS	ŽUP	SRM	ŠAB	BEO		MOJ	VRH	ČAT	ZAG	JAS	ŽUP	SRM	ŠAB	BEO
MOJ	/									MOJ	/								
VRH	***	/								VRH	ns	/							
ČAT	**	***	/							ČAT	***	***	/						
ZAG	***	ns	***	/						ZAG	ns	ns	***	/					
JAS	***	ns	***	ns	/					JAS	ns	ns	***	ns	/				
ŽUP	***	ns	***	ns	ns	/				ŽUP	ns	ns	***	ns	ns	/			
SRM	***	***	ns	***	***	***	/			SRM	ns	ns	***	ns	ns	ns	/		
ŠAB	ns	***	***	***	***	***	***	/		ŠAB	ns	ns	***	ns	ns	ns	ns	/	
BEO	***	ns	**	**	ns	*	ns	***	/	BEO	ns	ns	***	ns	ns	ns	ns	ns	/

Stepen statističke značajnosti: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$; ns – nije značajno

U odnosu na sadržaj Se u korenu *P. nigra*, ni jedan lokalitet se nije izdvojio kao značajno različit u odnosu na ostale, izuzev Čateža i Šapca ($p < 0,05$). Nasuprot tome, u odnosu na sadržaj Se u listovima, utvrđeno je postojanje značajnih razlika ($p < 0,001$) između lokaliteta u delu toka od Mojstrane do Zagreba i od Jasenovca do Beograda, pri čemu se lokaliteti od Jasenovca do Beograda međusobno značajno ne razlikuju (ns) (Tabela 53).

Tabela 53. Razlike između lokaliteta u odnosu na sadržaj Se u korenu i listovima vrste *P. nigra*

Sadržaj Se u korenu									Sadržaj Se u listovima										
	MOJ	VRH	ČAT	ZAG	JAS	ŽUP	SRM	ŠAB	BEO		MOJ	VRH	ČAT	ZAG	JAS	ŽUP	SRM	ŠAB	BEO
MOJ	/									MOJ	/								
VRH	ns	/								VRH	**	/							
ČAT	ns	ns	/							ČAT	ns	*	/						
ZAG	ns	ns	ns	/						ZAG	ns	*	ns	/					
JAS	ns	ns	ns	ns	/					JAS	***	***	***	***	/				
ŽUP	ns	ns	ns	ns	ns	/				ŽUP	***	***	***	***	ns	/			
SRM	ns	ns	ns	ns	ns	ns	/			SRM	***	***	***	***	ns	ns	/		
ŠAB	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	/		ŠAB	***	***	***	***	ns	ns	ns	/	
BEO	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	/	BEO	***	***	***	***	ns	ns	ns	ns	/

Stepen statističke značajnosti: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$; ns – nije značajno

Svi lokaliteti se međusobno značajno razlikuju ($p < 0,05$, $p < 0,01$ i $p < 0,001$) u odnosu na sadržaj Sr u korenu *P. nigra*, izuzev Mojstrane i Županje, kao i Jasenovca i Šapca (ns). Takođe, u odnosu na sadržaj Sr u listovima, utvrđene su značajne razlike između svih lokaliteta ($p < 0,05$, $p < 0,01$ i $p < 0,001$), sa izuzetkom Šapca i Čateža, i Šapca i Zagreba (ns) (Tabela 54).

Tabela 54. Razlike između lokaliteta u odnosu na sadržaj Sr u korenu i listovima vrste *P. nigra*

Sadržaj Sr u korenu									Sadržaj Sr u listovima										
	MOJ	VRH	ČAT	ZAG	JAS	ŽUP	SRM	ŠAB	BEO		MOJ	VRH	ČAT	ZAG	JAS	ŽUP	SRM	ŠAB	BEO
MOJ	/									MOJ	/								
VRH	***	/								VRH	***	/							
ČAT	***	***	/							ČAT	***	***	/						
ZAG	***	***	***	/						ZAG	***	***	***	/					
JAS	***	***	***	***	/					JAS	***	***	***	***	/				
ŽUP	ns	***	***	***	***	/				ŽUP	***	***	***	***	***	/			
SRM	***	***	***	***	***	***	/			SRM	***	***	***	***	***	***	/		
ŠAB	***	***	***	***	ns	***	***	/		ŠAB	***	***	ns	ns	***	***	***	/	
BEO	***	***	***	***	***	***	***	***	/	BEO	*	***	***	***	***	***	***	***	/

Stepen statističke značajnosti: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$; ns – nije značajno

Lokaliteti Mojstrana, Vrhovo, Jasenovac i Beograd se izdvajaju ($p < 0,01$ i $p < 0,001$) od ostalih analiziranih lokaliteta u odnosu na sadržaj Zn u korenu vrste *P. nigra*. Dodatno, svi lokaliteti se međusobno značajno razlikuju po sadržaju Zn u listovima ($p < 0,001$) (Tabela 55).

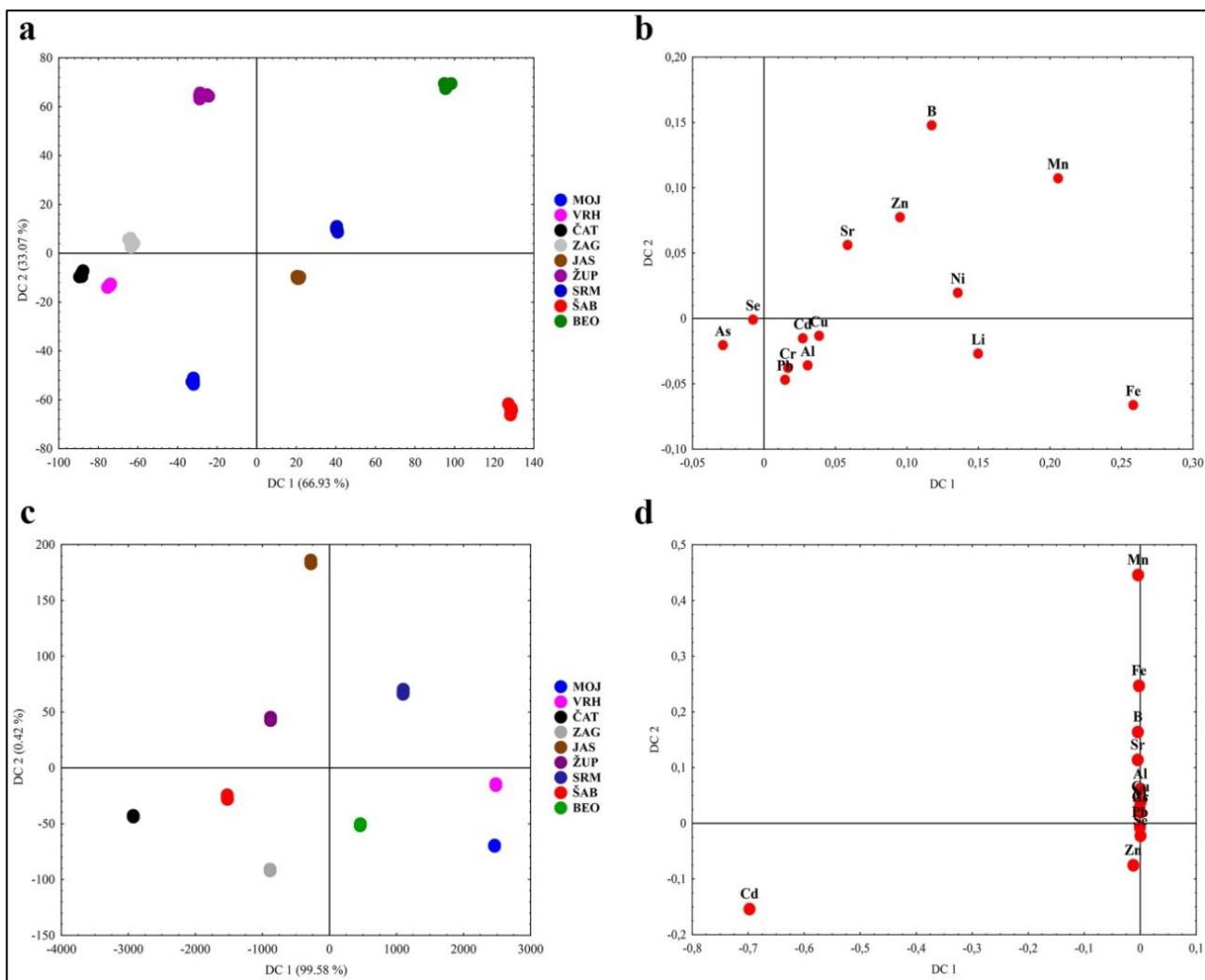
Tabela 55. Razlike između lokaliteta u odnosu na sadržaj Zn u korenu i listovima vrste *P. nigra*

Sadržaj Zn u korenu										Sadržaj Zn u listovima										
	MOJ	VRH	ČAT	ZAG	JAS	ŽUP	SRM	ŠAB	BEO		MOJ	VRH	ČAT	ZAG	JAS	ŽUP	SRM	ŠAB	BEO	
MOJ	/									MOJ	/									
VRH	***	/								VRH	***	/								
ČAT	**	***	/							ČAT	***	***	/							
ZAG	***	***	***	/						ZAG	***	***	***	/						
JAS	***	***	***	***	/					JAS	***	***	***	***	/					
ŽUP	***	***	ns	***	***	/				ŽUP	***	***	***	***	***	/				
SRM	***	***	ns	***	***	ns	/			SRM	***	***	***	***	***	***	/			
ŠAB	***	***	***	ns	***	***	***	/		ŠAB	***	***	***	***	***	***	***	/		
BEO	***	***	***	***	***	***	***	***	/	BEO	***	***	***	***	***	***	***	***	***	/

Stepen statističke značajnosti: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$; ns – nije značajno

Prema rezultatima kanonijske diskriminantne analize, lokaliteti na kojima je uzorkovana *P. nigra* su jasno razdvojeni u odnosu na ukupni sadržaj hemijskih elemenata (Al, As, B, Cd, Cr, Cu, Fe, Li, Mn, Ni, Pb, Se, Sr, Zn) u korenu. Naime, na prvu diskriminantnu osu (DC1) koja objašnjava 66,93% razlika, najveći uticaj na razdvajanje imaju Fe, Mn, Li i As. Na drugu diskriminantnu osu (DC2) koja opisuje 33,07% varijabilnosti, najveći uticaj imaju B, Mn i Zn. Rezultati pokazuju jasno odvajanje lokaliteta Beograd i Sremska Mitrovica u odnosu na sadržaj B, Mn, Zn, Ni i Sr, zatim Jasenovca i Šapca usled sadržaja Fe, Li, Cd, Cu, Cr, Pb i Al, kao i Mojstrane, Vrhova i Čateža usled sadržaja As u korenu *P. nigra*.

Takođe, diskriminantna analiza je pokazala razlike između lokaliteta u odnosu na ukupni sadržaj navedenih hemijskih elemenata u listovima *P. nigra*. Prva diskriminantna osa (DC1) objašnjava čak 99,58% varijabilnosti i pokazuje da najveći uticaj na razdvajanje ima Cd. Na osnovu ove ose jasno se odvajaju lokaliteti Čatež, Zagreb, Jasenovac, Županja i Šabac (Slika 36). Na drugu diskriminantnu osu (DC2) koja opisuje samo 0,42% razlika, najveći uticaj imaju Mn i Fe.



Slika 36. Razlike između lokaliteta u odnosu na sadržaj hemijskih elemenata u korenu i listovima vrste *Populus nigra*: a) razdvajanje lokaliteta na osnovu sadržaja hemijskih elemenata u korenu; b) uticaj ispitivanih elemenata na razlike između lokaliteta; c) razdvajanje lokaliteta na osnovu sadržaja hemijskih elemenata u listovima; d) uticaj ispitivanih elemenata na razlike između lokaliteta.

4.4.3. *Populus alba*

Sadržaj ispitivanih hemijskih elemenata u listu i korenu *P. alba* predstavljen je u Tabelama 56 i 57. Prosečan sadržaj elemenata u korenu varirao je u sledećem nizu: Fe > Al > Mn > Zn > Sr > B > Li > Cu > Cr > Pb > Ni > As > Cd > Se, dok je prosečan sadržaj elemenata u listu varirao u nizu: Zn > B > Sr > Fe > Al > Mn > Cu > Se > Cd > Pb > Ni > Cr > As = Li.

U korenu *P. alba* izmereni sadržaj Al se kretao u opsegu od 300,65 mg kg⁻¹ u Beogradu, do 940,45 mg kg⁻¹ u Šapcu (Tabela 56). U listovima ove vrste sadržaj Al je bio značajno niži i varirao je u opsegu od 40,27 mg kg⁻¹ u Šapcu, do 90,32 mg kg⁻¹ u Beogradu (Tabela 57).

Arsen je izmeren samo u korenu *P. alba*, dok je u listovima bio ispod nivoa detekcije aparata (Tabela 57). U korenu, nivo As se kretao u opsegu od 1,83 mg kg⁻¹ u Beogradu, do 2,56 mg kg⁻¹ u Županji (Tabela 56).

Izmereni sadržaj B u korenu *P. alba* varirao je u opsegu od 7,31 mg kg⁻¹ u Beogradu, do 14,96 mg kg⁻¹ u Šapcu (Tabela 56). Sadržaj B u listovima ove vrste varirao je od 47,25 mg kg⁻¹ u Županji, do 135,26 mg kg⁻¹ u Šapcu (Tabela 57).

U korenu *P. alba*, sadržaj Cd je varirao u opsegu od 0,52 mg kg⁻¹ u Sremskoj Mitrovici, do 2,06 mg kg⁻¹ u Šapcu i Beogradu (Tabela 56). U listovima ove vrste, izmereni sadržaj Cd se kretao od 0,77 mg kg⁻¹ u Županji i Sremskoj Mitrovici, do 1,55 mg kg⁻¹ u Beogradu (Tabela 57).

Izmereni sadržaj Cr u korenu vrste *P. alba* se kretao od 3,61 mg kg⁻¹ u Beogradu, do 8,65 mg kg⁻¹ u Sremskoj Mitrovici (Tabela 56). Sadržaj Cr u listovima *P. alba* je bio nešto niži, i varirao je u opsegu od 0,22 mg kg⁻¹ u Šapcu, do 0,50 mg kg⁻¹ u Županji (Tabela 57).

Sadržaj Cu u korenu *P. alba* je varirao u opsegu od 4,56 mg kg⁻¹ u Beogradu, do 11,68 mg kg⁻¹ u Šapcu (Tabela 56). Sadržaj Cu u listovima ove vrste je bio nešto niži, i kretao se od 3,67 mg kg⁻¹ u Sremskoj Mitrovici, do 7,53 mg kg⁻¹ u Šapcu (Tabela 57).

Nivo Fe u korenu *P. alba* je varirao u širokom opsegu, od 720,53 mg kg⁻¹ u Beogradu, do 2220,27 mg kg⁻¹ u Šapcu (Tabela 56). Sadržaj Fe u listovima *P. alba* je imao nešto uži opseg variranja, a izmerene vrednosti su se kretale od 48,64 mg kg⁻¹ u Sremskoj Mitrovici, do 113,03 mg kg⁻¹ u Beogradu (Tabela 57).

U korenu *P. alba* sadržaj Li je varirao u rasponu od 6,83 mg kg⁻¹ u Beogradu, do 14,79 mg kg⁻¹ u Šapcu (Tabela 56). U uzorcima listova *P. alba* sa istraživanih lokaliteta, sadržaj Li je bio ispod nivoa detekcije aparata (Tabela 57).

Mangan je u korenu *P. alba* varirao u opsegu od 47,41 mg kg⁻¹ u Sremskoj Mitrovici, do 69,03 mg kg⁻¹ u Županji (Tabela 56). U listovima ove vrste, sadržaj Mn je imao sličan opseg variranja, i kretao se od 30,74 mg kg⁻¹ u Sremskoj Mitrovici, do 72,79 mg kg⁻¹ u Beogradu (Tabela 57).

Sadržaj Ni u korenu vrste *P. alba* je varirao od 2,56 mg kg⁻¹ u Beogradu, do 9,32 mg kg⁻¹ u Županji (Tabela 56). Međutim, na lokalitetima Sremska Mitrovica i Šabac, sadržaj ovog elementa u listovima je bio ispod nivoa detekcije aparata, dok su najviše vrednosti izmerene u Županji (1,40 mg kg⁻¹) (Tabela 57).

Izmereni nivoi Pb u korenu *P. alba* kretali su se od 2,97 mg kg⁻¹ u Županji, do 11,07 mg kg⁻¹ u Šapcu (Tabela 56). Sa druge strane, sadržaj Pb u listovima *P. alba* je bio u proseku niži i kretao se u opsegu od 0,45 mg kg⁻¹ u Županji, do 1,63 mg kg⁻¹ u Šapcu (Tabela 57).

U korenu *P. alba* izmeren je sadržaj Se od 0,53 mg kg⁻¹ u Šapcu, do 1,53 mg kg⁻¹ u Beogradu (Tabela 56). Sadržaj Se u listovima ove vrste je varirao od 1,36 mg kg⁻¹ u Beogradu, do 2,03 mg kg⁻¹ u Šapcu (Tabela 57).

Stroncijum je u korenu *P. alba* varirao u opsegu od 26,24 mg kg⁻¹ u Beogradu, do 40,50 mg kg⁻¹ u Šapcu (Tabela 56). Izmereni sadržaj Sr u listovima ove vrste se kretao u opsegu od 63,36 mg kg⁻¹ u Županji, do 88,27 mg kg⁻¹ u Sremskoj Mitrovici (Tabela 57).

U korenu vrste *P. alba*, sadržaj Zn je varirao od 28,17 mg kg⁻¹ u Županji, do 42,35 mg kg⁻¹ u Šapcu (Tabela 56). Izmereni sadržaj ovog elementa u listovima je varirao od 50,64 mg kg⁻¹ u Županji, do 238,70 mg kg⁻¹ u Šapcu (Tabela 57).

Tabela 56. Sadržaj elemenata u korenu *P. alba*; srednja vrednost i standardna devijacija u zagradi; vrednosti su izražene u mg kg⁻¹

Lokalitet	Al	As	B	Cd	Cr	Cu	Fe	Li	Mn	Ni	Pb	Se	Sr	Zn
ŽUP	729,15 (17,77)	2,56 (0,44)	12,72 (0,48)	0,77 (0,00)	6,82 (0,53)	6,42 (0,45)	2014,39 (45,09)	13,31 (0,48)	69,03 (1,08)	9,32 (0,18)	2,97 (0,48)	0,98 (0,19)	34,19 (0,84)	28,17 (0,32)
SRM	618,64 (63,98)	2,14 (0,72)	11,60 (0,40)	0,52 (0,00)	6,17 (0,12)	5,89 (0,61)	1124,67 (178,00)	8,19 (1,62)	47,41 (5,25)	5,97 (0,87)	4,92 (0,33)	1,50 (0,43)	27,57 (0,18)	29,31 (3,34)
ŠAB	940,45 (3,84)	2,52 (0,52)	14,96 (0,02)	2,06 (0,00)	8,65 (0,22)	11,68 (0,18)	2220,27 (10,00)	14,79 (0,12)	56,82 (0,09)	6,11 (0,43)	11,07 (0,36)	0,53 (0,39)	40,50 (0,22)	42,35 (0,31)
BEO	300,65 (16,58)	1,83 (0,36)	7,31 (0,18)	2,06 (0,00)	3,61 (0,63)	4,56 (0,09)	720,53 (28,79)	6,83 (0,36)	61,34 (0,72)	2,56 (0,11)	5,81 (0,89)	1,53 (0,27)	26,24 (0,29)	36,95 (0,15)
Srednja vrednost za ceo tok	647,22	2,26	11,65	1,35	6,31	7,14	1519,97	10,78	58,65	5,99	6,19	1,13	32,37	34,20
Deficit^a	-	-	20-70	-	-	2-5	<50	-	-	-	-	-	-	10-20
Normalni opseg^a	-	1-1,7	10-100	0,002-1	0,1-0,5	5-30	-	3-5	30-300	0,1-5	0,2-10	0,01-2	1-10	27-150
Toksičan opseg^a	-	5-20	>50	5-30	5-30	20-100	>300	5-50	400-1000	10-100	30-300	5-30	>30	100-400

^a Kabata-Pendias 2011; vrednosti u opsegu koncentracija toksičnih za biljke su u bold formatu; vrednosti u opsegu koncentracija deficita su osenčene

Tabela 57. Sadržaj elemenata u listovima *P. alba*; srednja vrednost i standardna devijacija u zagradi; vrednosti su izražene u mg kg⁻¹

Lokalitet	Al	As	B	Cd	Cr	Cu	Fe	Li	Mn	Ni	Pb	Se	Sr	Zn
ŽUP	79,28 (15,40)	<LoQ	47,25 (0,17)	0,77 (0,00)	0,50 (0,11)	4,09 (0,28)	51,04 (7,36)	<LoQ	40,92 (0,13)	1,40 (0,08)	0,56 (0,23)	1,39 (0,34)	63,36 (0,75)	50,64 (2,32)
SRM	46,73 (3,21)	<LoQ	107,35 (0,53)	0,77 (0,00)	0,36 (0,11)	3,67 (0,00)	48,64 (0,51)	<LoQ	30,74 (0,05)	<LoQ	0,45 (0,14)	1,92 (0,43)	88,27 (0,97)	84,18 (0,60)
ŠAB	40,27 (3,30)	<LoQ	135,26 (0,24)	1,03 (0,00)	0,22 (0,00)	7,53 (0,13)	60,67 (0,56)	<LoQ	36,41 (0,11)	<LoQ	1,63 (0,83)	2,03 (0,23)	69,56 (0,23)	238,70 (14,04)
BEO	90,32 (6,46)	<LoQ	106,52 (0,08)	1,55 (0,00)	0,43 (0,00)	5,50 (0,00)	113,03 (4,32)	<LoQ	72,79 (0,69)	0,82 (0,00)	0,71 (0,51)	1,36 (0,43)	67,53 (1,80)	175,90 (1,86)
Srednja vrednost za ceo tok	64,15	-	99,09	1,03	0,38	5,19	68,34	-	45,21	0,55	0,84	1,67	72,18	137,35
Deficit^a	-	-	20-70	-	-	2-5	<50	-	-	-	-	-	-	10-20
Normalni opseg^a	-	1-1,7	10-100	0,002-1	0,1-0,5	5-30	-	3-5	30-300	0,1-5	0,2-10	0,01-2	1-10	27-150
Toksičan opseg^a	-	5-20	>50	5-30	5-30	20-100	>300	5-50	400-1000	10-100	30-300	5-30	>30	100-400

^a Kabata-Pendias 2011; vrednosti u opsegu koncentracija toksičnih za biljke su u bold formatu; vrednosti u opsegu koncentracija deficita su osenčene; <LoQ – ispod nivoa detekcije

Razlike u sadržaju hemijskih elemenata u korenu i listovima *P. alba* na ispitivanim lokalitetima su predstavljene u Tabelama 58-72. U analizu nisu uključeni sadržaji As i Li u listovima s obzirom da su bili ispod nivoa detekcije aparata u svim analiziranim uzorcima. Lokalitet značajno utiče na varijabilnost sadržaja svih hemijskih elemenata u korenu i listovima *P. alba* ($p < 0,001$), sa izuzetkom As ($p = 0,085$) u korenu, kao i Pb ($p = 0,002$) i Se ($p = 0,007$) u listu. Dominantan uticaj lokaliteta, kao faktora varijabilnosti, utvrđen je za sadržaj Al, As, Cd, Cr, Fe, Li, Pb, Se i Sr u korenu, kao i za B, Cu, Mn, Ni i Zn u listovima (Tabela 58).

Tabela 58. Uticaj lokaliteta kao faktora varijabilnosti (F) na razlike u sadržaju hemijskih elemenata u korenu i listovima *P. alba*

	Biljni delovi	Koren		List	
	Faktor varijabilnosti i stepen značajnosti	F	p	F	p
Potencijalno toksični elementi	Al	363,7	***	47,7	***
	As	2,5	0,085	/	
	B	591,2	***	3 335,7	***
	Cd	21392009,5	***	1059242,2	***
	Cr	139,6	***	14,5	***
	Cu	379,7	***	783,3	***
	Fe	353,4	***	298,9	***
	Li	119,5	***	/	
	Mn	66,9	***	16 645,1	***
	Ni	186,5	***	1 639,5	***
	Pb	229,0	***	6,9	0,002
	Se	12,2	***	5,4	0,007
	Sr	1 245,2	***	611,3	***
Zn	94,9	***	857,1	***	

Osenčene su vrednosti dominantnog faktora varijabilnosti (F) za analizirani element
F - faktor varijabilnosti; **p** - stepen značajnosti: *** $p < 0,001$

Svi lokaliteti se međusobno značajno razlikuju u odnosu na sadržaj Al u korenu *P. alba* ($p < 0,001$). Sa druge strane, po sadržaju Al u listovima razlike nisu utvrđene između Županje i Beograda, kao i između Sremske Mitrovice i Šapca (Tabela 59).

Tabela 59. Razlike između lokaliteta u odnosu na sadržaj Al u korenu i listovima vrste *P. alba*

	Sadržaj Al u korenu				Sadržaj Al u listovima			
	ŽUP	SRM	ŠAB	BEO	ŽUP	SRM	ŠAB	BEO
ŽUP	/				ŽUP	/		
SRM	***	/			SRM	***	/	
ŠAB	***	***	/		ŠAB	***	ns	/
BEO	***	***	***	/	BEO	ns	***	***

Stepen statističke značajnosti: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$; ns – nije značajno

U odnosu na sadržaj As u korenu vrste *P. alba*, nisu utvrđene statistički značajne razlike između lokaliteta (Tabela 60).

Tabela 60. Razlike između lokaliteta u odnosu na sadržaj As u korenu vrste *P. alba*

Sadržaj As u korenu				
	ŽUP	SRM	ŠAB	BEO
ŽUP	/			
SRM	ns	/		
ŠAB	ns	ns	/	
BEO	ns	ns	ns	/

Stepen statističke značajnosti: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$; ns – nije značajno

Prema sadržaju B u korenu i listovima vrste *P. alba*, utvrđene su značajne razlike između svih lokaliteta ($p < 0,001$), izuzev između Sremske Mitrovice i Beograda, koji su slični po sadržaju ovog elementa u listovima (ns) (Tabela 61).

Tabela 61. Razlike između lokaliteta u odnosu na sadržaj B u korenu i listovima vrste *P. alba*

	Sadržaj B u korenu				Sadržaj B u listovima			
	ŽUP	SRM	ŠAB	BEO	ŽUP	SRM	ŠAB	BEO
ŽUP	/				ŽUP	/		
SRM	***	/			SRM	***	/	
ŠAB	***	***	/		ŠAB	***	***	/
BEO	***	***	***	/	BEO	***	ns	***

Stepen statističke značajnosti: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$; ns – nije značajno

Svi istraživani lokaliteti se međusobno značajno razlikuju ($p < 0,001$) po sadržaju Cd u korenu i listovima *P. alba*. Izuzetak su lokaliteti Šabac i Beograd koji su slični po sadržaju Cd u korenu, kao i Županja i Sremska Mitrovica koji su takođe slični po sadržaju ovog elementa u listovima (Tabela 62).

Tabela 62. Razlike između lokaliteta u odnosu na sadržaj Cd u korenu i listovima vrste *P. alba*

	Sadržaj Cd u korenu				Sadržaj Cd u listovima			
	ŽUP	SRM	ŠAB	BEO	ŽUP	SRM	ŠAB	BEO
ŽUP	/				ŽUP	/		
SRM	***	/			SRM	ns	/	
ŠAB	***	***	/		ŠAB	***	***	/
BEO	***	***	ns	/	BEO	***	***	***

Stepen statističke značajnosti: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$; ns – nije značajno

Sa izuzetkom Županje i Sremske Mitrovice, svi lokaliteti se međusobno značajno razlikuju po sadržaju Cr u korenu vrste *P. alba* ($p < 0,001$). U odnosu na sadržaj Cr u listovima, utvrđene su značajne razlike ($p < 0,05$ i $p < 0,001$) između svih lokaliteta izuzev Beograda, Županje i Sremske Mitrovice (Tabela 63).

Tabela 63. Razlike između lokaliteta u odnosu na sadržaj Cr u korenu i listovima vrste *P. alba*

	Sadržaj Cr u korenu					Sadržaj Cr u listovima			
	ŽUP	SRM	ŠAB	BEO		ŽUP	SRM	ŠAB	BEO
ŽUP	/				ŽUP	/			
SRM	ns	/			SRM	*	/		
ŠAB	***	***	/		ŠAB	***	*	/	
BEO	***	***	***	/	BEO	ns	ns	***	/

Stepen statističke značajnosti: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$; ns – nije značajno

Svi lokaliteti se međusobno značajno razlikuju ($p < 0,001$) po sadržaju Cu u korenu i listovima *P. alba*. Izuzetak su Županja i Sremska Mitrovica, gde nisu utvrđene značajne razlike (ns) u izmerenom sadržaju Cu u korenu ove vrste (Tabela 64).

Tabela 64. Razlike između lokaliteta u odnosu na sadržaj Cu u korenu i listovima vrste *P. alba*

	Sadržaj Cu u korenu					Sadržaj Cu u listovima			
	ŽUP	SRM	ŠAB	BEO		ŽUP	SRM	ŠAB	BEO
ŽUP	/				ŽUP	/			
SRM	ns	/			SRM	***	/		
ŠAB	***	***	/		ŠAB	***	***	/	
BEO	***	***	***	/	BEO	***	***	***	/

Stepen statističke značajnosti: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$; ns – nije značajno

Svi lokaliteti se međusobno značajno razlikuju po sadržaju Fe u korenu vrste *P. alba* ($p < 0,01$ i $p < 0,001$). Takođe, utvrđene su i značajne razlike između lokaliteta u odnosu na sadržaj ovog elementa u listovima ($p < 0,01$ i $p < 0,001$), izuzev između Županje i Sremske Mitrovice (ns) (Tabela 65).

Tabela 65. Razlike između lokaliteta u odnosu na sadržaj Fe u korenu i listovima vrste *P. alba*

	Sadržaj Fe u korenu					Sadržaj Fe u listovima			
	ŽUP	SRM	ŠAB	BEO		ŽUP	SRM	ŠAB	BEO
ŽUP	/				ŽUP	/			
SRM	***	/			SRM	ns	/		
ŠAB	**	***	/		ŠAB	**	***	/	
BEO	***	***	***	/	BEO	***	***	***	/

Stepen statističke značajnosti: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$; ns – nije značajno

Svi lokaliteti na kojima je uzorkovana vrsta *P. alba* se međusobno značajno razlikuju po sadržaju Li u korenu ($p < 0,01$ i $p < 0,001$), osim Sremske Mitrovice i Beograda (Tabela 66).

Tabela 66. Razlike između lokaliteta u odnosu na sadržaj Li u korenu vrste *P. alba*

Sadržaj Li u korenu				
	ŽUP	SRM	ŠAB	BEO
ŽUP	/			
SRM	***	/		
ŠAB	**	***	/	
BEO	***	ns	***	/

Stepen statističke značajnosti: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$; ns – nije značajno

U odnosu na sadržaj Mn u korenu i listovima vrste *P. alba*, svi lokaliteti se međusobno značajno razlikuju ($p < 0,01$ i $p < 0,001$) (Tabela 67).

Tabela 67. Razlike između lokaliteta u odnosu na sadržaj Mn u korenu i listovima vrste *P. alba*

	Sadržaj Mn u korenu				Sadržaj Mn u listovima			
	ŽUP	SRM	ŠAB	BEO	ŽUP	SRM	ŠAB	BEO
ŽUP	/				/			
SRM	***	/			***	/		
ŠAB	***	***	/		***	***	/	
BEO	***	***	**	/	***	***	***	/

Stepen statističke značajnosti: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$; ns – nije značajno

U odnosu na sadržaj Ni u korenu i listovima vrste *P. alba*, utvrđene su statistički značajne razlike između svih lokaliteta, izuzev između Sremske Mitrovice i Šapca ($p < 0,01$ i $p < 0,001$) (Tabela 68).

Tabela 68. Razlike između lokaliteta u odnosu na sadržaj Ni u korenu i listovima vrste *P. alba*

	Sadržaj Ni u korenu				Sadržaj Ni u listovima			
	ŽUP	SRM	ŠAB	BEO	ŽUP	SRM	ŠAB	BEO
ŽUP	/				/			
SRM	***	/			***	/		
ŠAB	***	ns	/		***	ns	/	
BEO	***	***	***	/	***	***	***	/

Stepen statističke značajnosti: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$; ns – nije značajno

U odnosu na sadržaj Pb u korenu vrste *P. alba*, svi lokaliteti se međusobno značajno razlikuju ($p < 0,001$), a izuzetak su Sremska Mitrovica i Beograd. U odnosu na sadržaj ovog elementa u listovima, izdvaja se Šabac kao statistički značajno različit u odnosu na ostale lokalitete (Tabela 69).

Tabela 69. Razlike između lokaliteta u odnosu na sadržaj Pb u korenu i listovima vrste *P. alba*

Sadržaj Pb u korenu					Sadržaj Pb u listovima				
	ŽUP	SRM	ŠAB	BEO		ŽUP	SRM	ŠAB	BEO
ŽUP	/				ŽUP	/			
SRM	***	/			SRM	ns	/		
ŠAB	***	***	/		ŠAB	**	**	/	
BEO	***	ns	***	/	BEO	ns	ns	*	/

Stepen statističke značajnosti: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$; ns – nije značajno

U odnosu na sadržaj Se u korenu *P. alba*, utvrđene su značajne razlike između lokaliteta: Županja i Beograd ($p < 0,01$), Sremska Mitrovica i Šabac ($p < 0,001$), i Šabac i Beograd ($p < 0,001$). Takođe, u odnosu na sadržaj Se u listovima, utvrđene su značajne razlike između Šapca i Županje ($p < 0,05$), i Šapca i Beograda ($p < 0,05$) (Tabela 70).

Tabela 70. Razlike između lokaliteta u odnosu na sadržaj Se u korenu i listovima vrste *P. alba*

Sadržaj Se u korenu					Sadržaj Se u listovima				
	ŽUP	SRM	ŠAB	BEO		ŽUP	SRM	ŠAB	BEO
ŽUP	/				ŽUP	/			
SRM	ns	/			SRM	ns	/		
ŠAB	ns	***	/		ŠAB	*	ns	/	
BEO	**	ns	***	/	BEO	ns	ns	*	/

Stepen statističke značajnosti: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$; ns – nije značajno

U odnosu na sadržaj Sr u korenu i listovima vrste *P. alba*, svi lokaliteti se međusobno značajno razlikuju ($p < 0,05$ i $p < 0,001$) (Tabela 71).

Tabela 71. Razlike između lokaliteta u odnosu na sadržaj Sr u korenu i listovima vrste *P. alba*

Sadržaj Sr u korenu					Sadržaj Sr u listovima				
	ŽUP	SRM	ŠAB	BEO		ŽUP	SRM	ŠAB	BEO
ŽUP	/				ŽUP	/			
SRM	***	/			SRM	***	/		
ŠAB	***	***	/		ŠAB	***	***	/	
BEO	***	***	***	/	BEO	***	***	*	/

Stepen statističke značajnosti: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$; ns – nije značajno

U odnosu na sadržaj Zn u korenu i listovima vrste *P. alba*, utvrđene su statistički značajne razlike između lokaliteta ($p < 0,01$ i $p < 0,001$). Izuzetak su Županja i Sremska Mitrovica između kojih nije ustanovljena statistički značajna razlika u sadržaju Zn u korenu (ns) (Tabela 72).

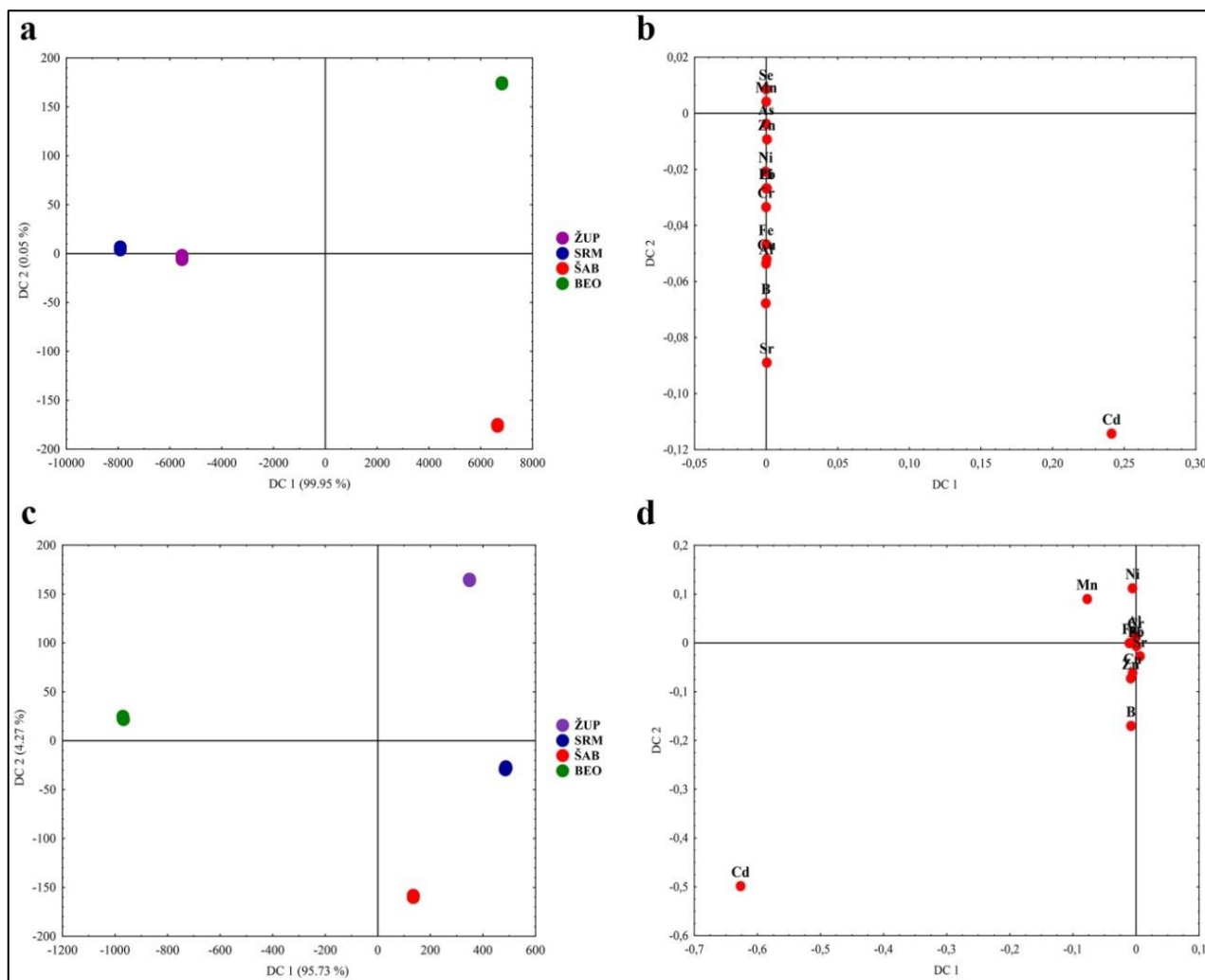
Tabela 72. Razlike između lokaliteta u odnosu na sadržaj Zn u korenu i listovima vrste *P. alba*

	Sadržaj Zn u korenu					Sadržaj Zn u listovima			
	ŽUP	SRM	ŠAB	BEO		ŽUP	SRM	ŠAB	BEO
ŽUP	/				ŽUP	/			
SRM	ns	/			SRM	***	/		
ŠAB	***	***	/		ŠAB	***	***	/	
BEO	***	***	***	/	BEO	***	***	***	/

Stepen statističke značajnosti: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$; ns – nije značajno

U odnosu na ukupni sadržaj Al, As, B, Cd, Cr, Cu, Fe, Li, Mn, Ni, Pb, Se, Sr i Zn u korenu *P. alba*, kanonijskom diskriminantnom analizom su utvrđene razlike između lokaliteta. Na osnovu prve diskriminantne ose (DC1) koja objašnjava čak 99,95% varijabilnosti, pokazalo se da su lokaliteti na kojima je ova vrsta uzorkovana jasno razdvojeni i da najveći uticaj na razdvajanje ima Cd (Slika 37). Na drugu diskriminantnu osu (DC2) koja opisuje samo 0,05% varijabilnosti, najveći uticaj imaju Se, Sr i Cd. Kao rezultat diskriminantne analize, izdvojeni su Šabac i Beograd po akumulaciji Cd u korenu *P. alba*.

Takođe, diskriminantna analiza je pokazala razlike između lokaliteta i u odnosu na ukupni sadržaj ispitivanih hemijskih elemenata u listovima *P. alba*, izuzev za As i Li, koji su bili ispod nivoa detekcije aparata. Na osnovu prve diskriminantne ose (DC1) koja objašnjava 95,73% varijabilnosti, utvrđeno je jasno razdvajanje lokaliteta, a najveći uticaj na razdvajanje imaju Cd i Mn. Na drugu diskriminantnu osu (DC2) koja opisuje samo 4,37% varijabilnosti, najveći uticaj imaju Ni, Mn i Cd. Kao rezultat diskriminantne analize sadržaja ispitivanih PTE u listovima *P. alba*, izdvajaju se lokaliteti: Beograd po sadržaju Mn i Cd, Sremska Mitrovica i Šabac po sadržaju B, i Županja po sadržaju Ni (Slika 37).



Slika 37. Razlike između lokaliteta u odnosu na sadržaj hemijskih elemenata u korenu i listu vrste *Populus alba*: a) razdvajanje lokaliteta na osnovu sadržaja hemijskih elemenata u korenu; b) uticaj ispitivanih elemenata na razlike između lokaliteta; c) razdvajanje lokaliteta na osnovu sadržaja hemijskih elemenata u listovima; d) uticaj ispitivanih elemenata na razlike između lokaliteta.

4.4.4. *Ulmus glabra*

Sadržaj ispitivanih hemijskih elemenata u listu i korenu *U. glabra* predstavljen je u Tabelama 73 i 74. Prosečan sadržaj elemenata u korenu varirao je u sledećem nizu: Al > Fe > Mn > Sr > Zn > B > Li > Cu > Cr > Se > Pb > Ni > As > Cd, dok je prosečan sadržaj elemenata u listu varirao u nizu: Al > Fe > Sr > B > Mn > Zn > Cu > Se > Li > As > Ni > Cr > Pb > Cd.

Sadržaj Al u korenu *U. glabra* varirao je u veoma širokom opsegu, od 162,31 mg kg⁻¹ u Zagrebu, do 7909,92 mg kg⁻¹ u Jasenovcu (Tabela 73). U listovima ove vrste sadržaj Al bio je značajno niži i kretao se od 69,93 mg kg⁻¹ u Litiji, do 2774,89 mg kg⁻¹ u Jasenovcu (Tabela 74).

U korenu *U. glabra* sadržaj As je bio ispod nivoa detekcije aparata na lokalitetu Litija, dok je najviši sadržaj ovog elementa izmeren na lokalitetu Šabac (6,57 mg kg⁻¹) (Tabela 73). Izmeren sadržaj As u listovima je bio u opsegu od 1,58 mg kg⁻¹ na lokalitetima Šabac i Beograd, do 5,55 mg kg⁻¹ na lokalitetu Zagreb (Tabela 74).

Izmeren sadržaj B u korenu *U. glabra* kretao se od 6,28 mg kg⁻¹ u Čatežu, do 26,27 mg kg⁻¹ u Jasenovcu (Tabela 73). Sadržaj ovog elementa u listovima je varirao u opsegu od 27,87 mg kg⁻¹ u Radovljici, do 54,23 mg kg⁻¹ u Županji (Tabela 74).

Kadmijum je u korenu *U. glabra* na 5 analiziranih lokaliteta bio ispod nivoa detekcije aparata. Najviše vrednosti su izmerene u Jasenovcu (0,98 mg kg⁻¹) (Tabela 73). Slično, u listovima ove vrste, sadržaj Cd je bio ispod nivoa detekcije aparata na većini analiziranih lokaliteta, a njegov sadržaj je izmeren samo u materijalu iz Jasenovca (0,24 mg kg⁻¹) i Slavanskog Broda (0,25 mg kg⁻¹) (Tabela 74).

Na istraživanim lokalitetima, sadržaj Cr u korenu *U. glabra* se kretao u opsegu od 0,97 mg kg⁻¹ na lokalitetu Litija, do 14,69 mg kg⁻¹ u Jasenovcu (Tabela 73). Sa druge strane, sadržaj Cr u listovima *U. glabra* je bio ispod nivoa detekcije na četiri analizirana lokaliteta, dok je najviši sadržaj ovog elementa izmeren u Slavanskom Brodu (5,78 mg kg⁻¹) (Tabela 74).

U korenu *U. glabra*, izmeren sadržaj Cu je varirao u opsegu od 5,27 mg kg⁻¹ u Radovljici, do 11,78 mg kg⁻¹ u Jasenovcu. Sadržaj ovog elementa u listovima se kretao od 5,47 mg kg⁻¹ u Beogradu, do 8,50 mg kg⁻¹ u Slavanskom Brodu (Tabele 73 i 74).

Sadržaj Fe u korenu *U. glabra* je varirao u širokom opsegu, od 147,89 mg kg⁻¹ u Zagrebu, do 6998,15 mg kg⁻¹ u Jasenovcu (Tabela 73). U listovima se sadržaj ovog elementa kretao u nešto užem opsegu, od 61,99 mg kg⁻¹ u Radovljici, do 2479,36 mg kg⁻¹ u Slavanskom Brodu (Tabela 74).

Litijum je bio ispod nivoa detekcije aparata u korenu *U. glabra* na 4 lokaliteta, a najviši sadržaj ovog elementa je izmeren u Jasenovcu (50,21 mg kg⁻¹) (Tabela 73). Slično, u listovima ove vrste, Li je izmeren samo u Jasenovcu (16,31 mg kg⁻¹) i Slavanskom Brodu (19,50 mg kg⁻¹) (Tabela 74).

Izmereni sadržaj Mn u korenu vrste *U. glabra* je varirao u širokom opsegu, od 5,28 mg kg⁻¹ u Čatežu, do 180,01 mg kg⁻¹ u Jasenovcu (Tabela 73), dok se sadržaj istog u listovima kretao od 4,95 mg kg⁻¹ u Radovljici, do 65,66 mg kg⁻¹ u Slavanskom Brodu (Tabela 74).

Na istraživanim lokalitetima izmereni sadržaj Ni u korenu *U. glabra* je bio ispod nivoa detekcije aparata na lokalitetima Čatež i Zagreb, do 8,85 mg kg⁻¹ u Jasenovcu (Tabela 73). Sadržaj Ni u listovima je takođe bio ispod nivoa detekcije aparata na lokalitetu Zagreb, dok je najviši sadržaj ovog elementa izmeren u Slavanskom Brodu (5,61 mg kg⁻¹) (Tabela 74).

Sadržaj Pb u korenu *U. glabra* je bio ispod nivoa detekcije aparata u Zagrebu. Najviše vrednosti su izmerene u uzorku iz Jasenovca (12,19 mg kg⁻¹) (Tabela 73). Slično, sadržaj ovog elementa u listovima je bio ispod nivoa detekcije aparata na 4 lokaliteta, dok je najviši nivo Pb u listovima *U. glabra* takođe zabeležen u Jasenovcu (4,07 mg kg⁻¹) (Tabela 74).

Najniži sadržaj Se u korenu *U. glabra* je izmeren na lokalitetu Litija (4,00 mg kg⁻¹), a najviši u Slavanskom Brodu (7,27 mg kg⁻¹) (Tabela 73). Takođe, najniži sadržaj Se u listovima *U. glabra* izmeren je na lokalitetu Zagreb (3,44 mg kg⁻¹), a najviši u Županji (6,44 mg kg⁻¹) (Tabela 74).

U korenu vrste *U. glabra*, sadržaj Sr se kretao od 13,84 mg kg⁻¹ u Čatežu, do 58,16 mg kg⁻¹ u Jasenovcu (Tabela 73). Sa druge strane, sadržaj Sr u listovima ove vrste je bio u opsegu od 31,11 mg kg⁻¹ u Litiji, do 60,92 mg kg⁻¹ u Slavonskom Brodu (Tabela 74).

Izmereni sadržaj Zn u korenu *U. glabra* je varirao od 2,56 mg kg⁻¹ u Radovljici, do 26,34 mg kg⁻¹ u Šapcu (Tabela 73). Sadržaj Zn u listovima se kretao od 3,89 mg kg⁻¹ u Radovljici, do 30,45 mg kg⁻¹ u Jasenovcu (Tabela 74). Rezultati pokazuju povećanje sadržaja Zn u listovima ove vrste, od izvora ka ušću reke Save.

Tabela 73. Sadržaj elemenata u korenu *U. glabra*; srednja vrednost i standardna devijacija u zagradi; vrednosti su izražene u mg kg⁻¹

Lokalitet	Al	As	B	Cd	Cr	Cu	Fe	Li	Mn	Ni	Pb	Se	Sr	Zn
RAD	748,41 (118,28)	1,62 (0,51)	11,17 (1,10)	<LoQ	5,20 (0,20)	5,27 (0,78)	1094,86 (118,26)	9,47 (1,03)	35,33 (1,47)	2,74 (0,44)	4,64 (0,33)	5,44 (0,70)	52,44 (5,30)	2,65 (0,13)
LIT	449,52 (117,52)	<LoQ	10,00 (0,18)	<LoQ	0,97 (0,30)	6,57 (0,67)	207,44 (73,03)	<LoQ	23,38 (3,70)	0,32 (0,11)	1,82 (0,54)	4,00 (0,38)	25,36 (0,07)	5,86 (0,12)
ČAT	241,20 (4,89)	1,99 (0,61)	6,28 (0,25)	<LoQ	2,08 (0,49)	6,90 (0,98)	178,87 (12,47)	<LoQ	5,28 (0,25)	<LoQ	1,46 (0,42)	6,34 (0,42)	13,84 (0,33)	13,83 (0,37)
ZAG	162,31 (5,34)	5,25 (0,47)	8,33 (0,36)	<LoQ	1,41 (0,12)	6,13 (0,73)	147,89 (21,07)	<LoQ	8,08 (1,18)	<LoQ	<LoQ	4,14 (0,37)	23,57 (1,49)	14,04 (1,38)
JAS	7909,92 (630,46)	5,64 (1,83)	26,27 (0,26)	0,98 (0,00)	14,69 (0,33)	11,78 (0,60)	6998,15 (453,15)	50,21 (2,28)	180,01 (10,85)	8,85 (0,22)	12,19 (0,60)	5,81 (0,29)	58,16 (8,00)	14,61 (0,29)
SLB	2716,46 (742,64)	2,18 (0,28)	16,20 (1,56)	0,49 (0,00)	11,50 (1,55)	8,52 (0,17)	2432,79 (275,96)	15,50 (0,64)	65,82 (2,18)	5,64 (0,54)	5,20 (1,38)	7,27 (0,20)	45,76 (0,40)	10,33 (0,10)
ŽUP	1391,78 (28,54)	2,30 (0,28)	11,92 (0,09)	<LoQ	7,85 (0,33)	6,06 (0,42)	1231,77 (160,32)	8,16 (0,50)	47,92 (0,11)	6,61 (0,17)	3,12 (0,12)	5,53 (0,36)	31,12 (0,30)	16,75 (0,30)
SRM	1414,62 (558,73)	4,18 (0,96)	12,64 (0,95)	0,74 (0,35)	6,04 (1,63)	10,03 (0,28)	1459,61 (216,68)	10,10 (1,78)	33,61 (3,04)	5,73 (0,76)	3,86 (0,94)	6,33 (0,42)	35,83 (0,32)	25,32 (0,34)
ŠAB	635,42 (33,56)	6,57 (0,18)	10,31 (0,07)	0,49 (0,00)	4,90 (0,36)	6,24 (0,09)	661,89 (4,55)	<LoQ	13,48 (0,40)	3,63 (0,00)	5,72 (0,12)	4,36 (0,29)	34,14 (0,19)	26,34 (0,85)
BEO	2676,13 (235,72)	3,84 (0,61)	14,61 (0,44)	0,83 (0,13)	10,40 (0,67)	9,93 (0,15)	2277,61 (97,54)	15,53 (0,79)	84,40 (2,53)	8,59 (0,37)	7,85 (0,18)	6,42 (0,35)	24,50 (0,45)	21,43 (1,19)
Srednja vrednost za ceo tok	1834,58	3,36	12,77	0,35	6,50	7,74	1669,09	10,90	49,53	4,21	4,59	5,56	36,38	15,12
Deficit^a	-	-	20-70	-	-	2-5	<50	-	-	-	-	-	-	10-20
Normalni opseg^a	-	1-1,7	10-100	0,002-1	0,1-0,5	5-30	-	3-5	30-300	0,1-5	0,2-10	0,01-2	1-10	27-150
Toksičan opseg^a	-	5-20	>50	5-30	5-30	20-100	>300	5-50	400-1000	10-100	30-300	5-30	>30	100-400

^a Kabata-Pendias 2011; vrednosti u opsegu koncentracija toksičnih za biljke su u bold formatu; vrednosti u opsegu koncentracija deficita su osenčene; <LoQ – ispod nivoa detekcije

Tabela 74. Sadržaj elemenata u listu *U. glabra*; srednja vrednost i standardna devijacija u zagradi; vrednosti su izražene u mg kg⁻¹

Lokalitet	Al	As	B	Cd	Cr	Cu	Fe	Li	Mn	Ni	Pb	Se	Sr	Zn
RAD	82,17 (3,29)	2,35 (1,81)	27,87 (0,76)	<LoQ	<LoQ	6,37 (0,14)	61,99 (0,36)	<LoQ	4,95 (0,27)	0,12 (0,11)	<LoQ	5,22 (0,40)	44,17 (0,29)	3,89 (0,32)
LIT	69,93 (3,43)	4,31 (1,26)	41,18 (1,13)	<LoQ	<LoQ	5,86 (0,14)	72,29 (3,13)	<LoQ	10,85 (0,21)	0,20 (0,00)	<LoQ	4,27 (0,25)	31,11 (0,11)	11,08 (0,13)
ČAT	646,19 (12,04)	1,79 (0,32)	36,86 (13,10)	<LoQ	1,10 (0,00)	6,13 (0,27)	546,81 (33,23)	<LoQ	34,11 (1,41)	0,69 (0,11)	1,78 (0,18)	5,19 (0,19)	46,14 (1,98)	15,48 (0,50)
ZAG	104,44 (7,87)	5,55 (0,78)	35,38 (0,25)	<LoQ	<LoQ	6,36 (0,07)	122,38 (4,78)	<LoQ	13,19 (0,07)	<LoQ	<LoQ	3,44 (0,66)	46,73 (0,25)	13,00 (0,19)
JAS	2774,89 (135,95)	2,64 (0,54)	36,58 (0,17)	0,24 (0,00)	4,62 (0,21)	8,09 (0,24)	2004,68 (12,92)	16,31 (0,18)	61,95 (0,14)	3,79 (0,17)	4,07 (0,36)	5,97 (0,16)	49,69 (0,80)	30,45 (0,19)
SLB	2360,43 (678,90)	3,97 (0,76)	51,94 (0,44)	0,25 (0,00)	5,78 (0,82)	8,50 (0,00)	2479,36 (110,60)	19,50 (0,77)	65,66 (0,49)	5,61 (0,22)	3,94 (0,28)	4,64 (0,43)	60,92 (1,38)	25,09 (0,31)
ŽUP	269,35 (29,36)	1,88 (0,18)	54,23 (1,87)	<LoQ	0,53 (0,11)	5,97 (0,14)	220,65 (26,68)	<LoQ	22,18 (0,13)	4,96 (0,22)	<LoQ	6,44 (0,33)	48,11 (0,67)	23,97 (0,38)
SRM	138,73 (7,36)	2,26 (0,39)	43,67 (0,72)	<LoQ	<LoQ	6,90 (0,09)	123,12 (4,34)	<LoQ	21,23 (0,29)	2,91 (0,11)	1,00 (0,12)	6,19 (0,22)	47,83 (1,28)	16,03 (0,42)
ŠAB	217,87 (5,11)	1,58 (0,12)	43,87 (5,11)	<LoQ	0,75 (0,12)	7,13 (0,22)	212,87 (5,11)	<LoQ	24,99 (0,29)	3,95 (0,11)	1,26 (0,24)	3,89 (0,65)	53,03 (0,24)	25,35 (0,87)
BEO	218,13 (5,35)	1,58 (0,24)	42,79 (0,14)	<LoQ	0,44 (0,00)	5,47 (0,18)	198,93 (0,54)	<LoQ	17,64 (0,22)	0,81 (0,00)	1,17 (0,12)	6,17 (0,43)	51,74 (0,15)	26,96 (0,11)
Srednja vrednost za ceo tok	688,21	2,79	41,44	0,05	1,32	6,68	604,31	3,58	27,67	2,30	1,32	5,14	47,95	19,13
Deficit^a	-	-	20-70	-	-	2-5	<50	-	-	-	-	-	-	10-20
Normalni opseg^a	-	1-1,7	10-100	0,002-1	0,1-0,5	5-30	-	3-5	30-300	0,1-5	0,2-10	0,01-2	1-10	27-150
Toksičan opseg^a	-	5-20	>50	5-30	5-30	20-100	>300	5-50	400-1000	10-100	30-300	5-30	>30	100-400

^a Kabata-Pendias 2011; vrednosti u opsegu koncentracija toksičnih za biljke su u bold formatu; vrednosti u opsegu koncentracija deficita su osenčene; <LoQ – ispod nivoa detekcije

Razlike u sadržaju hemijskih elemenata u korenu i listovima *U. glabra* na ispitivanim lokalitetima su predstavljene u Tabelama 75-89. Utvrđeno je da lokalitet značajno utiče na varijabilnost sadržaja svih hemijskih elemenata u korenu i listovima ove vrste ($p < 0,001$). Dominantan uticaj lokaliteta je utvrđen za sadržaj Al, As i Se u korenu, kao i za sadržaj B, Cd, Cr, Cu, Fe, Li, Mn, Ni, Pb, Sr i Zn u listovima (Tabela 75).

Tabela 75. Uticaj lokaliteta kao faktora varijabilnosti (F) na razlike u sadržaju hemijskih elemenata u korenu i listovima *U. glabra*

	Biljni delovi	Koren		List	
	Faktor varijabilnosti i stepen značajnosti	F	p	F	p
Potencijalno toksični elementi	Al	240,8	***	127,1	***
	As	56,9	***	20,6	***
	B	366,4	***	461,6	***
	Cd	86,4	***	13431706,9	***
	Cr	253,1	***	443,5	***
	Cu	111,0	***	252,5	***
	Fe	653,5	***	3262,8	***
	Li	1289,3	***	5552,2	***
	Mn	1048,4	***	9514,2	***
	Ni	667,0	***	1613,0	***
	Pb	245,8	***	558,3	***
	Se	45,9	***	39,6	***
	Sr	129,6	***	390,1	***
Zn	996,2	***	3259,6	***	

Osenčene su vrednosti dominantnog faktora varijabilnosti (F) za analizirani element
F - faktor varijabilnosti; **p** - stepen značajnosti: *** $p < 0,001$

U odnosu na sadržaj Al u korenu vrste *U. glabra*, kao statistički značajno različit u odnosu na ostale istraživane lokalitete izdvojio se Jasenovac ($p < 0,001$). U odnosu na sadržaj ovog elementa u listovima, kao statistički značajno različit izdvajaju se lokaliteti Jasenovac i Slavonski Brod ($p < 0,001$), ali se oni međusobno značajno ne razlikuju (Tabela 76).

Tabela 76. Razlike između lokaliteta u odnosu na sadržaj Al u korenu i listovima vrste *U. glabra*

	Sadržaj Al u korenu										Sadržaj Al u listovima											
	RAD	LIT	ČAT	ZAG	JAS	SLB	ŽUP	SRM	ŠAB	BEO	RAD	LIT	ČAT	ZAG	JAS	SLB	ŽUP	SRM	ŠAB	BEO		
RAD	/										RAD	/										
LIT	ns	/									LIT	ns	/									
ČAT	ns	ns	/								ČAT	**	**	/								
ZAG	ns	ns	ns	/							ZAG	ns	ns	**	/							
JAS	***	***	***	***	/						JAS	***	***	***	***	/						
SLB	***	***	***	***	***	/					SLB	***	***	***	***	ns	/					
ŽUP	ns	**	***	***	***	***	/				ŽUP	ns	ns	ns	ns	***	***	/				
SRM	ns	**	***	***	***	***	ns	/			SRM	ns	ns	**	ns	***	***	ns	/			
ŠAB	ns	ns	ns	ns	***	***	*	*	/		ŠAB	ns	ns	*	ns	***	***	ns	ns	/		
BEO	***	***	***	***	***	ns	***	***	***	/	BEO	ns	ns	*	ns	***	***	ns	ns	ns	/	

Stepen statističke značajnosti: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$; ns – nije značajno

Lokalitet Litija se značajno razlikuje od ostalih lokaliteta po sadržaju As u korenu *U. glabra* ($p < 0,05$ i $p < 0,001$). U odnosu na izmeren sadržaj As u listovima ove vrste, utvrđeno je da između Županje, Sremske Mitrovice, Šapca i Beograda nema statistički značajnih razlika (Tabela 77).

Tabela 77. Razlike između lokaliteta u odnosu na sadržaj As u korenu i listovima vrste *U. glabra*

Sadržaj As u korenu										Sadržaj As u listovima											
	RAD	LIT	ČAT	ZAG	JAS	SLB	ŽUP	SRM	ŠAB	BEO		RAD	LIT	ČAT	ZAG	JAS	SLB	ŽUP	SRM	ŠAB	BEO
RAD	/										RAD	/									
LIT	*	/									LIT	*	/								
ČAT	ns	***	/								ČAT	ns	***	/							
ZAG	***	***	***	/							ZAG	***	ns	***	/						
JAS	***	***	***	ns	/						JAS	ns	**	ns	***	/					
SLB	ns	***	ns	***	***	/					SLB	*	ns	***	*	ns	/				
ŽUP	ns	***	ns	***	***	ns	/				ŽUP	ns	***	ns	***	ns	***	/			
SRM	***	***	***	ns	*	***	***	/			SRM	ns	***	ns	***	ns	**	ns	/		
ŠAB	***	***	***	*	ns	***	***	***	/		ŠAB	ns	***	ns	***	ns	***	ns	ns	/	
BEO	***	***	***	*	**	**	**	ns	***	/	BEO	ns	***	ns	***	ns	***	ns	ns	ns	/

Stepen statističke značajnosti: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$; ns – nije značajno

U odnosu na sadržaj B u korenu *U. glabra* izdvajaju se lokaliteti Čatež, Zagreb, Jasenovac, Slavonski Brod i Beograd ($p < 0,01$ i $p < 0,001$), a u odnosu na sadržaj ovog elementa u listovima izdvajaju se Radovljica, Slavonski Brod i Županja, kao statistički značajno različiti u odnosu na ostale istraživane lokalitete ($p < 0,01$ i $p < 0,001$) (Tabela 78).

Tabela 78. Razlike između lokaliteta u odnosu na sadržaj B u korenu i listovima vrste *U. glabra*

Sadržaj B u korenu										Sadržaj B u listovima											
	RAD	LIT	ČAT	ZAG	JAS	SLB	ŽUP	SRM	ŠAB	BEO		RAD	LIT	ČAT	ZAG	JAS	SLB	ŽUP	SRM	ŠAB	BEO
RAD	/										RAD	/									
LIT	ns	/									LIT	***	/								
ČAT	***	***	/								ČAT	***	***	/							
ZAG	***	**	***	/							ZAG	***	***	ns	/						
JAS	***	***	***	***	/						JAS	***	***	ns	ns	/					
SLB	***	***	***	***	***	/					SLB	***	***	***	***	***	/				
ŽUP	ns	***	***	***	***	***	/				ŽUP	***	***	***	***	***	**	/			
SRM	*	***	***	***	***	***	ns	/			SRM	***	***	***	***	***	***	***	/		
ŠAB	ns	ns	***	***	***	***	*	***	/		ŠAB	***	***	***	***	***	***	***	ns	/	
BEO	***	***	***	***	***	**	***	***	***	/	BEO	***	ns	***	***	***	***	***	ns	ns	/

Stepen statističke značajnosti: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$; ns – nije značajno

U odnosu na sadržaj Cd u korenu *U. glabra*, lokaliteti Jasenovac, Slavonski Brod, Sremska Mitrovica, Šabac i Beograd se značajno razlikuju od Radovljice, Litija, Čateža, Zagreba i Županje ($p < 0,001$). Sa druge strane, lokaliteti Jasenovac i Slavonski Brod se značajno razlikuju od svih ostalih lokaliteta po sadržaju Cd u listovima *U. glabra* ($p < 0,001$) (Tabela 79).

Tabela 79. Razlike između lokaliteta u odnosu na sadržaj Cd u korenu i listovima vrste *U. glabra*

Sadržaj Cd u korenu										Sadržaj Cd u listovima											
	RAD	LIT	ČAT	ZAG	JAS	SLB	ŽUP	SRM	ŠAB	BEO		RAD	LIT	ČAT	ZAG	JAS	SLB	ŽUP	SRM	ŠAB	BEO
RAD	/										RAD	/									
LIT	ns	/									LIT	ns	/								
ČAT	ns	ns	/								ČAT	ns	ns	/							
ZAG	ns	ns	ns	/							ZAG	ns	ns	ns	/						
JAS	***	***	***	***	/						JAS	***	***	***	***	/					
SLB	***	***	***	***	***	/					SLB	***	***	***	***	***	/				
ŽUP	ns	ns	ns	ns	***	***	/				ŽUP	ns	ns	ns	ns	***	***	/			
SRM	***	***	***	***	**	**	***	/			SRM	ns	ns	ns	ns	***	***	ns	/		
ŠAB	***	***	***	***	***	ns	***	**	/		ŠAB	ns	ns	ns	ns	***	***	ns	ns	/	
BEO	***	***	***	***	ns	***	***	ns	***	/	BEO	ns	ns	ns	ns	***	***	ns	ns	ns	/

Stepen statističke značajnosti: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$; ns – nije značajno

Jasenovac i Županja se značajno razlikuju od ostalih lokaliteta u odnosu na sadržaj Cr u korenu vrste *U. glabra* ($p < 0,01$ i $p < 0,001$). Slično, u odnosu na sadržaj ovog elementa u listovima, kao statistički značajno različiti lokaliteti izdvajaju se Jasenovac i Slavonski Brod ($p < 0,001$) (Tabela 80).

Tabela 80. Razlike između lokaliteta u odnosu na sadržaj Cr u korenu i listovima vrste *U. glabra*

Sadržaj Cr u korenu										Sadržaj Cr u listovima											
	RAD	LIT	ČAT	ZAG	JAS	SLB	ŽUP	SRM	ŠAB	BEO		RAD	LIT	ČAT	ZAG	JAS	SLB	ŽUP	SRM	ŠAB	BEO
RAD	/										RAD	/									
LIT	***	/									LIT	ns	/								
ČAT	***	ns	/								ČAT	***	***	/							
ZAG	***	ns	ns	/							ZAG	ns	ns	***	/						
JAS	***	***	***	***	/						JAS	***	***	***	***	/					
SLB	***	***	***	***	***	/					SLB	***	***	***	***	***	/				
ŽUP	***	***	***	***	***	***	/				ŽUP	*	*	**	*	***	***	/			
SRM	ns	***	***	***	***	***	**	/			SRM	ns	ns	***	ns	***	***	*	/		
ŠAB	ns	***	***	***	***	***	***	ns	/		ŠAB	***	***	ns	***	***	***	ns	***	/	
BEO	***	***	***	***	***	ns	***	***	***	/	BEO	ns	ns	***	ns	***	***	ns	ns	ns	/

Stepen statističke značajnosti: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$; ns – nije značajno

Lokaliteti Jasenovac i Slavonski Brod se značajno razlikuju ($p < 0,001$) od ostalih lokaliteta po sadržaju Cu u korenu *U. glabra*. Sa druge strane, u odnosu na sadržaj ovog elementa u listovima izdvajaju se lokaliteti Jasenovac, Slavonski Brod i Beograd ($p < 0,01$ i $p < 0,001$) (Tabela 81).

Tabela 81. Razlike između lokaliteta u odnosu na sadržaj Cu u korenu i listovima vrste *U. glabra*

Sadržaj Cu u korenu										Sadržaj Cu u listovima												
	RAD	LIT	ČAT	ZAG	JAS	SLB	ŽUP	SRM	ŠAB	BEO		RAD	LIT	ČAT	ZAG	JAS	SLB	ŽUP	SRM	ŠAB	BEO	
RAD	/										RAD	/										
LIT	*	/									LIT	***	/									
ČAT	***	ns	/								ČAT	ns	ns	/								
ZAG	ns	ns	ns	/							ZAG	ns	***	ns	/							
JAS	***	***	***	***	/						JAS	***	***	***	***	/						
SLB	***	***	***	***	***	/					SLB	***	***	***	***	***	/					
ŽUP	ns	ns	ns	ns	***	***	/				ŽUP	**	ns	ns	**	***	***	/				
SRM	***	***	***	***	***	***	***	/			SRM	***	***	***	***	***	***	***	/			
ŠAB	**	ns	ns	ns	***	***	ns	***	/		ŠAB	***	***	***	***	***	***	***	ns	/		
BEO	***	***	***	***	***	***	***	ns	***	/	BEO	***	**	***	***	***	***	***	***	***	***	/

Stepen statističke značajnosti: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$; ns – nije značajno

U odnosu na sadržaj Fe u korenu vrste *U. glabra*, lokaliteti Jasenovac i Šabac se značajno razlikuju od ostalih ($p < 0,05$, $p < 0,01$ i $p < 0,001$), dok se u odnosu na sadržaj Fe u listovima ove vrste, izdvajaju Čatež, Jasenovac i Slavonski Brod ($p < 0,001$) (Tabela 82).

Tabela 82. Razlike između lokaliteta u odnosu na sadržaj Fe u korenu i listovima vrste *U. glabra*

Sadržaj Fe u korenu										Sadržaj Fe u listovima											
	RAD	LIT	ČAT	ZAG	JAS	SLB	ŽUP	SRM	ŠAB	BEO		RAD	LIT	ČAT	ZAG	JAS	SLB	ŽUP	SRM	ŠAB	BEO
RAD	/										RAD	/									
LIT	***	/	ns	ns							LIT	ns	/								
ČAT	***	ns	/	ns							ČAT	***	***	/							
ZAG	***	ns	ns	/							ZAG	ns	ns	***	/						
JAS	***	***	***	***	/						JAS	***	***	***	***	/					
SLB	***	***	***	***	***	/					SLB	***	***	***	***	***	/				
ŽUP	ns	***	***	***	***	***	/	ns			ŽUP	***	***	***	*	***	***	/			
SRM	ns	***	***	***	***	***	ns	/			SRM	ns	ns	***	ns	***	***	**	/		
ŠAB	*	**	**	**	***	***	***	***	/		ŠAB	***	***	***	**	***	***	ns	**	/	
BEO	***	***	***	***	***	ns	***	***	***	/	BEO	***	***	***	*	***	***	ns	*	ns	/

Stepen statističke značajnosti: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$; ns – nije značajno

Po sadržaju Li u korenu *U. glabra*, Jasenovac se izdvaja kao statistički značajno različit u odnosu na ostale lokalitete, dok se po sadržaju ovog elementa u listovima izdvajaju Jasenovac i Slavonski Brod ($p < 0,001$) (Tabela 83).

Tabela 83. Razlike između lokaliteta u odnosu na sadržaj Li u korenu i listovima vrste *U. glabra*

Sadržaj Li u korenu											Sadržaj Li u listovima										
	RAD	LIT	ČAT	ZAG	JAS	SLB	ŽUP	SRM	ŠAB	BEO		RAD	LIT	ČAT	ZAG	JAS	SLB	ŽUP	SRM	ŠAB	BEO
RAD	/										RAD	/									
LIT	***	/									LIT	ns	/								
ČAT	***	ns	/								ČAT	ns	ns	/							
ZAG	***	ns	ns	/							ZAG	ns	ns	ns	/						
JAS	***	***	***	***	/						JAS	***	***	***	***	/					
SLB	***	***	***	***	***	/					SLB	***	***	***	***	***	/				
ŽUP	ns	***	***	***	***	***	/				ŽUP	ns	ns	ns	ns	***	***	/			
SRM	ns	***	***	***	***	***	ns	/			SRM	ns	ns	ns	ns	***	***	ns	/		
ŠAB	***	ns	ns	ns	***	***	***	***	/		ŠAB	ns	ns	ns	ns	***	***	ns	ns	/	
BEO	***	***	***	***	***	ns	***	***	***	/	BEO	ns	ns	ns	ns	***	***	ns	ns	ns	/

Stepen statističke značajnosti: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$; ns – nije značajno

U odnosu na sadržaj Mn u korenu *U. glabra*, lokaliteti Litija, Jasenovac, Slavonski Brod, Županja i Beograd se značajno razlikuju od ostalih lokaliteta ($p < 0,05$, $p < 0,01$ i $p < 0,001$). Sa druge strane, u odnosu na sadržaj ovog elementa u listovima, svi lokaliteti se međusobno značajno razlikuju ($p < 0,05$, $p < 0,01$ i $p < 0,001$), izuzev Županje i Sremske Mitrovice (Tabela 84).

Tabela 84. Razlike između lokaliteta u odnosu na sadržaj Mn u korenu i listovima vrste *U. glabra*

Sadržaj Mn u korenu											Sadržaj Mn u listovima										
	RAD	LIT	ČAT	ZAG	JAS	SLB	ŽUP	SRM	ŠAB	BEO		RAD	LIT	ČAT	ZAG	JAS	SLB	ŽUP	SRM	ŠAB	BEO
RAD	/										RAD	/									
LIT	***	/									LIT	***	/								
ČAT	***	***	/								ČAT	***	***	/							
ZAG	***	***	ns	/							ZAG	***	***	***	/						
JAS	***	***	***	***	/						JAS	***	***	***	***	/					
SLB	***	***	***	***	***	/					SLB	***	***	***	***	***	/				
ŽUP	***	***	***	***	***	***	/				ŽUP	***	***	***	***	***	***	/			
SRM	ns	**	***	***	***	***	***	/			SRM	***	***	***	***	***	***	ns	/		
ŠAB	***	**	*	ns	***	***	***	***	/		ŠAB	***	***	***	***	***	***	***	***	/	
BEO	***	***	***	***	***	***	***	***	***	/	BEO	***	***	***	***	***	***	***	***	***	/

Stepen statističke značajnosti: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$; ns – nije značajno

Po sadržaju Ni u korenu *U. glabra* izdvajaju se Radovljica, Županja i Šabac kao lokaliteti koji se značajno razlikuju ($p < 0,001$) od ostalih, dok se po sadržaju ovog elementa u listovima izdvajaju Slavonski Brod, Županja i Sremska Mitrovica ($p < 0,001$) (Tabela 85).

Tabela 85. Razlike između lokaliteta u odnosu na sadržaj Ni u korenu i listovima vrste *U. glabra*

Sadržaj Ni u korenu										Sadržaj Ni u listovima												
	RAD	LIT	ČAT	ZAG	JAS	SLB	ŽUP	SRM	ŠAB	BEO		RAD	LIT	ČAT	ZAG	JAS	SLB	ŽUP	SRM	ŠAB	BEO	
RAD	/										RAD	/										
LIT	***	/									LIT	ns	/									
ČAT	***	ns	/								ČAT	***	***	/								
ZAG	***	ns	ns	/							ZAG	ns	ns	***	/							
JAS	***	***	***	***	/						JAS	***	***	***	***	/						
SLB	***	***	***	***	***	/					SLB	***	***	***	***	***	/					
ŽUP	***	***	***	***	***	***	/				ŽUP	***	***	***	***	***	***	/				
SRM	***	***	***	***	***	ns	***	/			SRM	***	***	***	***	***	***	***	/			
ŠAB	***	***	***	***	***	***	***	***	/		ŠAB	***	***	***	***	ns	***	***	***	/		
BEO	***	***	***	***	ns	***	***	***	***	/	BEO	***	***	ns	***	***	***	***	***	***	***	/

Stepen statističke značajnosti: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$; ns – nije značajno

U odnosu na sadržaj Pb u korenu *U. glabra*, kao značajno različiti u odnosu na ostale lokalitete izdvajaju se Zagreb, Jasenovac i Beograd ($p < 0,05$ i $p < 0,001$), dok se u odnosu na sadržaj Pb u listovima ove vrste kao značajno različit izdvaja Čatež ($p < 0,05$, $p < 0,01$ i $p < 0,001$) (Tabela 86).

Tabela 86. Razlike između lokaliteta u odnosu na sadržaj Pb u korenu i listovima vrste *U. glabra*

Sadržaj Pb u korenu										Sadržaj Pb u listovima											
	RAD	LIT	ČAT	ZAG	JAS	SLB	ŽUP	SRM	ŠAB	BEO		RAD	LIT	ČAT	ZAG	JAS	SLB	ŽUP	SRM	ŠAB	BEO
RAD	/										RAD	/									
LIT	***	/									LIT	ns	/								
ČAT	***	ns	/								ČAT	***	***	/							
ZAG	***	***	*	/							ZAG	ns	ns	***	/						
JAS	***	***	***	***	/						JAS	***	***	***	***	/					
SLB	ns	***	***	***	***	/					SLB	***	***	***	***	ns	/				
ŽUP	***	**	***	***	***	***	/				ŽUP	ns	ns	***	ns	***	***	/			
SRM	ns	***	***	***	***	**	ns	/			SRM	***	***	***	***	***	***	***	/		
ŠAB	*	***	***	***	***	ns	**	**	/		ŠAB	***	***	***	***	***	***	***	ns	/	
BEO	***	***	***	***	***	***	***	***	***	/	BEO	***	***	***	***	***	***	***	ns	ns	/

Stepen statističke značajnosti: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$; ns – nije značajno

U odnosu na sadržaj Se u korenu, lokalitet Slavonski Brod se izdvaja kao značajno različit od svih ostalih lokaliteta ($p < 0,05$, $p < 0,01$ i $p < 0,001$), dok su u odnosu na sadržaj ovog elementa u listovima ustanovljene pojedinačne, statistički značajne razlike između lokaliteta (Tabela 87).

Tabela 87. Razlike između lokaliteta u odnosu na sadržaj Se u korenu i listovima vrste *U. glabra*

Sadržaj Se u korenu										Sadržaj Se u listovima											
	RAD	LIT	ČAT	ZAG	JAS	SLB	ŽUP	SRM	ŠAB	BEO		RAD	LIT	ČAT	ZAG	JAS	SLB	ŽUP	SRM	ŠAB	BEO
RAD	/										RAD	/									
LIT	***	/									LIT	**	/								
ČAT	**	***	/								ČAT	ns	*	/							
ZAG	***	ns	***	/							ZAG	***	*	***	/						
JAS	ns	***	ns	***	/						JAS	ns	***	ns	***	/					
SLB	**	***	**	***	**	/					SLB	ns	ns	ns	***	***	/				
ŽUP	ns	***	*	***	ns	***	/				ŽUP	***	***	***	***	ns	***	/			
SRM	*	***	ns	***	ns	**	*	/			SRM	**	***	**	***	ns	***	ns	/		
ŠAB	***	ns	***	ns	***	***	***	***	/		ŠAB	***	ns	***	ns	***	ns	***	***	/	
BEO	**	***	ns	***	ns	*	*	ns	***	/	BEO	**	***	**	***	ns	***	ns	ns	***	/

Stepen statističke značajnosti: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$; ns – nije značajno

Po sadržaju Sr u korenu *U. glabra*, izdvajaju se lokaliteti Radovljica, Jasenovac i Slavonski Brod kao statistički značajno različiti od ostalih, dok se po sadržaju ovog elementa u listovima izdvajaju Radovljica, Litija i Slavonski Brod ($p < 0,05$ i $p < 0,001$) (Tabela 88).

Tabela 88. Razlike između lokaliteta u odnosu na sadržaj Sr u korenu i listovima vrste *U. glabra*

Sadržaj Sr u korenu										Sadržaj Sr u listovima											
	RAD	LIT	ČAT	ZAG	JAS	SLB	ŽUP	SRM	ŠAB	BEO		RAD	LIT	ČAT	ZAG	JAS	SLB	ŽUP	SRM	ŠAB	BEO
RAD	/										RAD	/									
LIT	***	/									LIT	***	/								
ČAT	***	ns	/								ČAT	*	***	/							
ZAG	***	ns	ns	/							ZAG	***	***	ns	/						
JAS	***	***	***	***	/						JAS	***	***	***	***	/					
SLB	*	***	***	***	***	/					SLB	***	***	***	***	***	/				
ŽUP	***	ns	**	**	***	***	/				ŽUP	***	***	*	ns	ns	***	/			
SRM	***	***	***	***	***	***	ns	/			SRM	***	***	ns	ns	*	***	ns	/		
ŠAB	***	***	***	***	***	***	ns	ns	/		ŠAB	***	***	***	***	***	***	***	***	/	
BEO	***	ns	ns	ns	***	***	*	***	***	/	BEO	***	***	***	***	*	***	***	***	ns	/

Stepen statističke značajnosti: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$; ns – nije značajno

U odnosu na izmeren sadržaj Zn u korenu vrste *U. glabra*, utvrđeno je da se svi lokaliteti statistički značajno razlikuju, izuzev utvrđene sličnosti između lokaliteta Čatež, Zagreb i Jasenovac, kao i sličnosti između Sremske Mitrovice i Šapca (ns). Sa druge strane, utvrđene su značajne razlike između lokaliteta u odnosu na sadržaj Zn u listovima ove vrste ($p < 0,001$), osim između Sremske Mitrovice i Čateža, kao i Slavenskog Broda i Šapca (ns) (Tabela 89).

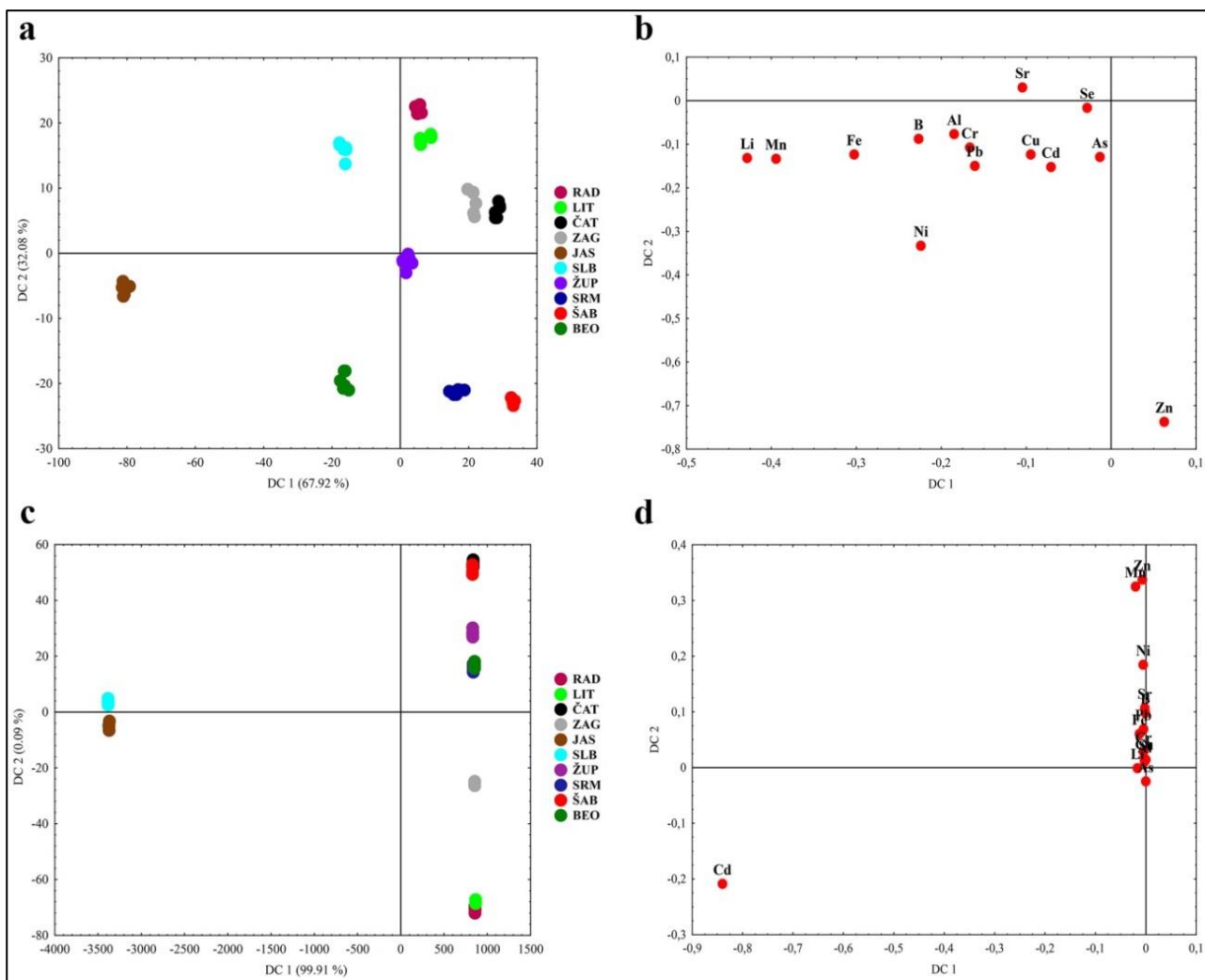
Tabela 89. Razlike između lokaliteta u odnosu na sadržaj Zn u korenu i listovima vrste *U. glabra*

Sadržaj Zn u korenu										Sadržaj Zn u listovima												
	RAD	LIT	ČAT	ZAG	JAS	SLB	ŽUP	SRM	ŠAB	BEO		RAD	LIT	ČAT	ZAG	JAS	SLB	ŽUP	SRM	ŠAB	BEO	
RAD	/										RAD	/										
LIT	***	/									LIT	***	/									
ČAT	***	***	/								ČAT	***	***	/								
ZAG	***	***	ns	/							ZAG	***	***	***	/							
JAS	***	***	ns	ns	/						JAS	***	***	***	***	/						
SLB	***	***	***	***	***	/					SLB	***	***	***	***	***	/					
ŽUP	***	***	***	***	***	***	/				ŽUP	***	***	***	***	***	***	/				
SRM	***	***	***	***	***	***	***	/			SRM	***	***	ns	***	***	***	***	/			
ŠAB	***	***	***	***	***	***	***	ns	/		ŠAB	***	***	***	***	***	ns	***	***	/		
BEO	***	***	***	***	***	***	***	***	***	/	BEO	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	/

Stepen statističke značajnosti: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$; ns – nije značajno

Razlike između lokaliteta u odnosu na ukupni sadržaj hemijskih elemenata (Al, As, B, Cd, Cr, Cu, Fe, Li, Mn, Ni, Pb, Se, Sr, Zn) u korenu i listovima *U. glabra*, određene su primenom kanonijske diskriminantne analize i prikazane su na Slici 38. Rezultati su pokazali jasno razdvajanje lokaliteta na osnovu prve diskriminantne ose (DC1) koja objašnjava 67,92% varijabilnosti ispitivanih PTE u korenu. Takođe, utvrđeno je da najveći uticaj na razdvajanje lokaliteta imaju Li, Mn i Fe. Na drugu diskriminantnu osu (DC2) koja opisuje 32,08% varijabilnosti, najveći uticaj imaju Zn i Ni. Kao rezultat jasno se odvajaju: Sremska Mitrovica i Šabac po sadržaju Zn, Slavonski Brod po sadržaju Sr, i Jasenovac i Beograd po sadržaju Li, Mn, Fe, Ni, B, Al, Cr, Pb, Cu, Cd i As u korenu *U. glabra*.

Takođe, diskriminantna analiza je pokazala razlike između lokaliteta u odnosu na ukupni sadržaj ispitivanih hemijskih elemenata u listovima *U. glabra*. Lokaliteti na kojima je ova vrsta uzorkovana su jasno razdvojeni na osnovu prve diskriminantne ose (DC1) koja objašnjava čak 99,91% varijabilnosti, i pokazuje da najveći uticaj na razdvajanje ima Cd. Upravo usled akumulacije Cd u listovima *U. glabra*, diskriminantna analiza odvajala lokalitete Slavonski Brod i Jasenovac. Na drugu diskriminantnu osu (DC2) koja opisuje samo 0,09% varijabilnosti najveći uticaj imaju Mn, Zn i Ni.



Slika 38. Razlike između lokaliteta u odnosu na sadržaj hemijskih elemenata u korenu i listu vrste *Ulmus glabra*: a) razdvajanje lokaliteta na osnovu sadržaja hemijskih elemenata u korenu; b) uticaj ispitivanih elemenata na razlike između lokaliteta; c) razdvajanje lokaliteta na osnovu sadržaja hemijskih elemenata u listovima; d) uticaj ispitivanih elemenata na razlike između lokaliteta.

4.4.5. *Juglans regia*

Sadržaj ispitivanih hemijskih elemenata u listu i korenu *J. regia* predstavljen je u Tabelama 90 i 91. Prosečan sadržaj elemenata u korenu varirao je u sledećem nizu: Al > Fe > Sr > Mn > Zn > B > Cr > Cu > Se > Li > Pb > As > Ni > Cd, dok je prosečan sadržaj elemenata u listu varirao u nizu: Al > Fe > B > Sr > Mn > Zn > Cu > Se > As > Cr > Li > Pb > Ni > Cd.

U korenu *J. regia*, izmeren je sadržaj Al u širokom opsegu, od 375,23 mg kg⁻¹ u Mojstrani, do 2313,99 mg kg⁻¹ u Sremskoj Mitrovici. Rezultati ukazuju na povećanje sadržaja Al u korenu ove vrste, od izvora ka ušću reke Save (Tabela 90). U listovima *J. regia*, sadržaj ovog elementa je varirao od 78,72 mg kg⁻¹ u Mojstrani, do 654,59 mg kg⁻¹ u Jasenovcu (Tabela 91).

Sadržaj As u korenu *J. regia* je varirao od 1,62 mg kg⁻¹ u Sremskoj Mitrovici, do 4,91 mg kg⁻¹ u Jasenovcu (Tabela 90). Takođe, sadržaj ovog elementa je varirao i u listovima, od 1,39 mg kg⁻¹ u Mojstrani, do 5,69 mg kg⁻¹ u Vrhovu (Tabela 91).

Izmereni sadržaj B u korenu *J. regia*, varirao je u opsegu od 12,17 mg kg⁻¹ u Mojstrani, do 24,79 mg kg⁻¹ u Sremskoj Mitrovici (Tabela 90). U listovima ove vrste, sadržaj B se kretao od 30,47 mg kg⁻¹ u Radovljici, do 99,85 mg kg⁻¹ u Sremskoj Mitrovici (Tabela 91). Takođe, rezultati ukazuju na povećanje sadržaja ovog elementa u korenu i listovima *J. regia*, od izvora ka ušću reke Save.

U korenu *J. regia*, sadržaj Cd je bio ispod nivoa detekcije aparata u Mojstrani, Radovljici, Litiji i Vrhovu. Najviši izmereni sadržaj je iznosio 0,45 mg kg⁻¹ u Sremskoj Mitrovici (Tabela 90). U listovima ove vrste, Cd je bio ispod nivoa detekcije aparata na svim ispitivanim lokalitetima (Tabela 91).

Hrom je u korenu vrste *J. regia* varirao u opsegu od 4,96 mg kg⁻¹ u Vrhovu, do 24,37 mg kg⁻¹ u Čatežu (Tabela 90). Sadržaj Cr u listovima ove vrste je bio nešto niži, i kretao se u opsegu od 0,62 mg kg⁻¹ u Čatežu, do 4,63 mg kg⁻¹ u Jasenovcu (Tabela 91).

Sadržaj Cu u korenu *J. regia* je varirao u opsegu od 1,92 mg kg⁻¹ u Vrhovu, do 10,05 mg kg⁻¹ u Sremskoj Mitrovici (Tabela 90). U listovima ove vrste nivo Cu se kretao od 3,44 mg kg⁻¹ u Čatežu, do 9,64 mg kg⁻¹ u Radovljici (Tabela 91). Rezultati ukazuju na smanjenje sadržaja ovog elementa u listovima *J. regia*, od izvora ka ušću reke Save.

Izmereni sadržaj Fe u korenu *J. regia* je varirao u širokom opsegu, od 386,19 mg kg⁻¹ u Mojstrani, do 1616,91 mg kg⁻¹ u Sremskoj Mitrovici. Rezultati ukazuju na povećanje sadržaja ovog elementa u korenu, od izvora ka ušću (Tabela 90). Širok opseg variranja Fe se javlja i u listovima *J. regia*, a izmerene vrednosti sadržaja su se kretale od 74,55 mg kg⁻¹ u Mojstrani, do 598,99 mg kg⁻¹ u Jasenovcu (Tabela 91).

U korenu *J. regia*, sadržaj Li je bio ispod nivoa detekcije aparata na lokalitetima Mojstrana, Radovljica, Litija i Vrhovo, pa do 13,92 mg kg⁻¹ u Čatežu (Tabela 90). U listovima je sadržaj ovog elementa bio ispod nivoa detekcije aparata na svim analiziranim lokalitetima, izuzev Jasenovca, gde je izmereno 10,58 mg kg⁻¹ (Tabela 91).

Mangan je u korenu *J. regia* varirao u opsegu od 14,69 mg kg⁻¹ u Mojstrani, do 47,55 mg kg⁻¹ u Jasenovcu. Rezultati ukazuju na povećanje sadržaja ovog elementa u korenu, od izvora ka ušću (Tabela 90). U listovima *J. regia*, sadržaj Mn se kretao u opsegu od 8,69 mg kg⁻¹ u Radovljici, do 73,82 mg kg⁻¹ u Mojstrani (Tabela 91).

Sadržaj Ni u korenu vrste *J. regia* je bio ispod nivoa detekcije aparata u Vrhovu, do 7,66 mg kg⁻¹ u Sremskoj Mitrovici. Takođe, rezultati ukazuju na povećanje sadržaja ovog elementa u korenu, od izvora ka ušću (Tabela 90). Sa druge strane, sadržaj Ni u listovima ove vrste je bio ispod nivoa detekcije aparata u Mojstrani, Vrhovu i Čatežu, do 1,55 mg kg⁻¹ u Sremskoj Mitrovici (Tabela 91).

Izmereni sadržaj Pb u korenu *J. regia*, varirao je u opsegu od 1,26 mg kg⁻¹ u Litiji, do 6,07 mg kg⁻¹ u Mojstrani (Tabela 90). Sa druge strane, sadržaj ovog elementa u listovima *J. regia* je bio ispod nivoa detekcije aparata u Litiji, Vrhovu i Čatežu, do 1,44 mg kg⁻¹ u Jasenovcu (Tabela 91).

U korenu *J. regia*, sadržaj Se je varirao od 2,24 mg kg⁻¹ u Čatežu, do 6,69 mg kg⁻¹ u Vrhovu (Tabela 90), a u listovima od 4,39 mg kg⁻¹ u Radovljici, do 6,25 mg kg⁻¹ u Litiji (Tabela 91).

Nivo Sr u korenu *J. regia* je varirao u opsegu od 17,42 mg kg⁻¹ u Mojstrani, do 69,59 mg kg⁻¹ u Litiji (Tabela 90). Izmerene vrednosti sadržaja ovog elementa u listovima su se kretale u opsegu od 38,84 mg kg⁻¹ u Vrhovu, do 96,50 mg kg⁻¹ u Čatežu (Tabela 91).

U korenu vrste *J. regia*, sadržaj Zn je varirao od 1,60 mg kg⁻¹ u Vrhovu, do 45,19 mg kg⁻¹ u Sremskoj Mitrovici (Tabela 90). Uu listovima ove vrste sadržaj Zn je varirao u opsegu od 1,60 mg kg⁻¹ u Vrhovu, do 25,55 mg kg⁻¹ u Litiji (Tabela 91).

Tabela 90. Sadržaj elemenata u korenu *J. regia*; srednja vrednost i standardna devijacija u zagradi; vrednosti su izražene u mg kg⁻¹

Lokalitet	Al	As	B	Cd	Cr	Cu	Fe	Li	Mn	Ni	Pb	Se	Sr	Zn
MOJ	357,23 (17,33)	2,99 (0,43)	12,17 (1,23)	<LoQ	6,17 (0,24)	4,75 (1,55)	386,19 (30,19)	<LoQ	14,69 (0,88)	0,24 (0,08)	6,07 (0,27)	6,64 (0,19)	17,42 (0,09)	26,21 (1,72)
RAD	380,74 (4,10)	2,12 (0,66)	19,23 (0,09)	<LoQ	6,80 (0,29)	8,27 (0,15)	442,27 (24,27)	<LoQ	20,79 (3,78)	1,14 (0,10)	1,62 (0,23)	5,52 (0,20)	51,26 (0,35)	25,19 (0,67)
LIT	478,36 (6,82)	2,48 (0,09)	18,88 (0,08)	<LoQ	6,00 (0,06)	7,96 (0,04)	436,50 (0,32)	<LoQ	36,47 (0,21)	0,77 (0,01)	1,26 (0,03)	6,58 (0,02)	69,59 (0,20)	27,70 (0,23)
VRH	542,21 (38,34)	1,95 (0,65)	18,30 (0,12)	<LoQ	4,96 (0,53)	1,92 (0,46)	473,39 (43,65)	<LoQ	33,94 (0,67)	<LoQ	1,41 (0,12)	6,69 (0,45)	30,63 (0,28)	1,60 (0,00)
ČAT	1648,19 (122,31)	3,31 (0,55)	22,40 (0,35)	0,25 (0,00)	24,37 (1,67)	7,20 (0,17)	1475,07 (173,81)	13,92 (1,88)	44,98 (4,27)	3,53 (0,55)	4,91 (0,47)	2,24 (0,62)	69,45 (1,38)	18,78 (0,47)
JAS	719,29 (46,35)	4,91 (0,80)	22,14 (0,41)	0,25 (0,00)	12,24 (1,67)	3,53 (0,54)	1111,08 (20,24)	9,19 (0,37)	47,55 (0,50)	2,22 (0,18)	2,89 (0,18)	4,58 (0,27)	53,24 (0,41)	8,12 (0,62)
SRM	2313,99 (49,22)	1,62 (0,37)	24,79 (0,24)	0,45 (0,24)	11,50 (0,55)	10,05 (0,35)	1616,91 (23,21)	11,72 (0,49)	44,76 (2,03)	7,66 (0,22)	3,57 (0,51)	3,36 (0,98)	40,26 (0,74)	45,19 (0,31)
Srednja vrednost za ceo tok	1013,80	2,73	20,96	0,16	10,98	6,49	925,87	5,81	38,08	2,56	2,61	4,83	52,41	21,10
Deficit^a	-	-	20-70	-	-	2-5	<50	-	-	-	-	-	-	10-20
Normalni opseg^a	-	1-1,7	10-100	0,002-1	0,1-0,5	5-30	-	3-5	30-300	0,1-5	0,2-10	0,01-2	1-10	27-150
Toksičan opseg^a	-	5-20	>50	5-30	5-30	20-100	>300	5-50	400-1000	10-100	30-300	5-30	>30	100-400

^a Kabata-Pendias 2011; vrednosti u opsegu koncentracija toksičnih za biljke su u bold formatu; vrednosti u opsegu koncentracija deficita su osenčene; <LoQ – ispod nivoa detekcije

Tabela 91. Sadržaj elemenata u listovima *J. regia*; srednja vrednost i standardna devijacija u zagradi; vrednosti su izražene u mg kg⁻¹

Lokalitet	Al	As	B	Cd	Cr	Cu	Fe	Li	Mn	Ni	Pb	Se	Sr	Zn
MOJ	78,72 (5,64)	1,39 (0,12)	51,45	<LoQ	1,43 (0,84)	6,53 (0,52)	74,55 (1,84)	<LoQ	73,82 (0,20)	<LoQ	1,34 (0,32)	4,75 (0,70)	52,79 (0,23)	19,66 (0,23)
RAD	99,70 (8,50)	1,71 (0,14)	30,47	<LoQ	2,20 (0,24)	9,64 (0,20)	119,00 (1,85)	<LoQ	8,69 (0,07)	0,44 (0,08)	1,11 (0,18)	4,39 (0,40)	43,77 (0,54)	22,74 (1,88)
LIT	135,28 (19,40)	5,26 (0,63)	80,47	<LoQ	1,18 (0,18)	5,19 (0,07)	125,37 (10,21)	<LoQ	44,87 (0,14)	0,44 (0,08)	<LoQ	6,25 (0,49)	59,45 (0,11)	25,55 (0,11)
VRH	155,03 (15,63)	5,69 (0,22)	50,54	<LoQ	1,10 (0,20)	4,33 (0,18)	191,77 (76,19)	<LoQ	47,43 (1,93)	<LoQ	<LoQ	5,30 (0,13)	38,84 (0,29)	1,60 (0,00)
ČAT	80,99 (3,25)	5,59 (0,85)	79,26	<LoQ	0,62 (0,09)	3,44 (0,14)	80,85 (1,34)	<LoQ	14,19 (0,13)	<LoQ	<LoQ	5,55 (0,23)	96,50 (0,70)	8,32 (0,12)
JAS	654,59 (17,67)	1,54 (0,55)	66,40	<LoQ	4,63 (0,00)	4,75 (0,09)	598,99 (4,94)	10,58 (0,35)	30,91 (0,63)	0,94 (0,10)	1,44 (0,33)	5,14 (0,22)	48,73 (0,24)	8,24 (0,00)
SRM	174,89 (15,24)	2,10 (1,13)	99,85	<LoQ	1,62 (0,18)	4,33 (0,18)	160,36 (0,63)	<LoQ	49,24 (0,78)	1,55 (0,10)	1,09 (0,14)	5,83 (0,76)	62,19 (0,93)	12,74 (0,12)
Srednja vrednost za ceo tok	216,75	3,66	67,83	-	1,89	5,28	212,72	1,76	32,56	0,56	0,61	5,41	58,25	13,20
Deficit	-	-	20-70	-	-	2-5	<50	-	-	-	-	-	-	10-20
Normalni opseg	-	1-1,7	10-100	0,002-1	0,1-0,5	5-30	-	3-5	30-300	0,1-5	0,2-10	0,01-2	1-10	27-150
Toksičan opseg	-	5-20	>50	5-30	5-30	20-100	>300	5-50	400-1000	10-100	30-300	5-30	>30	100-400

^a Kabata-Pendias 2011; vrednosti u opsegu koncentracija toksičnih za biljke su u bold formatu; vrednosti u opsegu koncentracija deficita su osenčene; <LoQ – ispod nivoa detekcije

Razlike u sadržaju hemijskih elemenata u korenu i listovima *J. regia* na ispitivanim lokalitetima su predstavljene u Tabelama 92-106. Dobijeni rezultati su pokazali da lokalitet značajno utiče na varijabilnost sadržaja hemijskih elemenata u korenu i listovima *J. regia* ($p < 0,001$), i to pre svega na sadržaj Cd, Cr, Fe, Ni, Pb, Se i Sr u korenu, i na sadržaj Al, As, B, Cu, Li, Mn i Zn u listovima (Tabela 92). Uticaj lokaliteta na razlike u sadržaju Cd u listovima ove vrste nije utvrđen, jer je ovaj element bio ispod nivoa detekcije aparata.

Tabela 92. Uticaj lokaliteta kao faktora varijabilnosti (F) na razlike u sadržaju hemijskih elemenata u korenu i listovima *J. regia*

	Biljni delovi	Koren		List	
	Faktor varijabilnosti i stepen značajnosti	F	p	F	p
Potencijalno toksični elementi	Al	1133,3	***	1389,1	***
	As	24,3	***	65,5	***
	B	366,9	***	3499,0	***
	Cd	137,1	***	/	
	Cr	309,2	***	84,2	***
	Cu	122,8	***	441,3	***
	Fe	352,3	***	238,6	***
	Li	431,8	***	5625,6	***
	Mn	177,7	***	4391,4	***
	Ni	754,6	***	406,0	***
	Pb	223,6	***	74,3	***
	Se	76,8	***	10,6	***
	Sr	5503,6	***	5160,4	***
Zn	2047,5	***	8394,3	***	

Osenčene su vrednosti dominantnog faktora varijabilnosti (F) za analizirani element
F - faktor varijabilnosti; **p** - stepen značajnosti: *** $p < 0,001$

Utvrđeno je da se Čatež, Jasenovac i Sremska Mitrovica značajno razlikuju od ostalih lokaliteta u odnosu na sadržaj Al u korenu vrste *J. regia* ($p < 0,001$). Po sadržaju ovog elementa u listovima, izdvaja se jedino Jasenovac kao statistički značajno različit u odnosu na ostale istraživane lokalitete ($p < 0,001$) (Tabela 93).

Tabela 93. Razlike između lokaliteta u odnosu na sadržaj Al u korenu i listovima vrste *J. regia*

	Sadržaj Al u korenu							Sadržaj Al u listovima							
	MOJ	RAD	LIT	VRH	ČAT	JAS	SRM	MOJ	RAD	LIT	VRH	ČAT	JAS	SRM	
MOJ	/							MOJ	/						
RAD	ns	/						RAD	ns	/					
LIT	**	ns	/					LIT	***	**	/				
VRH	***	***	ns	/				VRH	***	***	ns	/			
ČAT	***	***	***	***	/			ČAT	ns	ns	***	***	/		
JAS	***	***	***	***	***	/		JAS	***	***	***	***	***	/	
SRM	***	***	***	***	***	***	/	SRM	***	***	***	ns	***	***	/

Stepen statističke značajnosti: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$; ns – nije značajno

U odnosu na sadržaj As u korenu *J. regia*, izdvaja se samo Jasenovac kao statistički značajno različit u odnosu na ostale istraživane lokalitete ($p < 0,001$). Međutim, u odnosu na sadržaj ovog elementa u listovima, Litija, Vrhovo i Čatež se izdvajaju kao statistički značajno različiti lokaliteti od ostalih ($p < 0,001$), dok se međusobno ne razlikuju (ns) (Tabela 94).

Tabela 94. Razlike između lokaliteta u odnosu na sadržaj As u korenu i listovima vrste *J. regia*

Sadržaj As u korenu								Sadržaj As u listovima							
	MOJ	RAD	LIT	VRH	ČAT	JAS	SRM		MOJ	RAD	LIT	VRH	ČAT	JAS	SRM
MOJ	/							MOJ	/						
RAD	ns	/						RAD	ns	/					
LIT	ns	ns	/					LIT	***	***	/				
VRH	*	ns	ns	/				VRH	***	***	ns	/			
ČAT	ns	*	ns	**	/			ČAT	***	***	ns	ns	/		
JAS	***	***	***	***	***	/		JAS	ns	ns	***	***	***	/	
SRM	**	ns	ns	ns	***	***	/	SRM	ns	ns	***	***	***	ns	/

Stepen statističke značajnosti: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$; ns – nije značajno

Na osnovu izmerenog sadržaja B u korenu *J. regia*, izdvajaju se lokaliteti Mojstrana i Sremska Mitrovica kao statistički značajno različiti u odnosu na ostale lokalitete ($p < 0,001$), dok se po sadržaju ovog elementa u listovima izdvajaju Radovljica, Jasenovac i Sremska Mitrovica ($p < 0,001$) (Tabela 95).

Tabela 95. Razlike između lokaliteta u odnosu na sadržaj B u korenu i listovima vrste *J. regia*

Sadržaj B u korenu								Sadržaj B u listovima							
	MOJ	RAD	LIT	VRH	ČAT	JAS	SRM		MOJ	RAD	LIT	VRH	ČAT	JAS	SRM
MOJ	/							MOJ	/						
RAD	***	/						RAD	***	/					
LIT	***	ns	/					LIT	***	***	/				
VRH	***	ns	ns	/				VRH	ns	***	***	/			
ČAT	***	***	***	***	/			ČAT	***	***	ns	***	/		
JAS	***	***	***	***	ns	/		JAS	***	***	***	***	***	/	
SRM	***	***	***	***	***	***	/	SRM	***	***	***	***	***	***	/

Stepen statističke značajnosti: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$; ns – nije značajno

Prema sadržaju Cd u korenu *J. regia*, Čatež i Sremska Mitrovica se značajno razlikuju od ostalih lokaliteta ($p < 0,001$) (Tabela 96). Nivo Cd u listovima ove vrste je bio ispod nivoa detekcije aparata.

Tabela 96. Razlike između lokaliteta u odnosu na sadržaj Cd u korenu vrste *J. regia*

Sadržaj Cd u korenu							
	MOJ	RAD	LIT	VRH	ČAT	JAS	SRM
MOJ	/						
RAD	ns	/					
LIT	ns	ns	/				
VRH	ns	ns	ns	/			
ČAT	***	***	***	***	/		
JAS	***	***	***	***	ns	/	
SRM	***	***	***	***	***	***	/

Stepen statističke značajnosti: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$; ns – nije značajno

U odnosu na sadržaj Cr u korenu *J. regia*, Čatež se značajno razlikuje od ostalih lokaliteta ($p < 0,001$), dok se u odnosu na sadržaj ovog elementa u listovima izdvaja Jasenovac ($p < 0,001$) (Tabela 97).

Tabela 97. Razlike između lokaliteta u odnosu na sadržaj Cr u korenu i listovima vrste *J. regia*

Sadržaj Cr u korenu								Sadržaj Cr u listovima							
	MOJ	RAD	LIT	VRH	ČAT	JAS	SRM		MOJ	RAD	LIT	VRH	ČAT	JAS	SRM
MOJ	/							MOJ	/						
RAD	ns	/						RAD	**	/					
LIT	ns	ns	/					LIT	ns	***	/				
VRH	ns	*	ns	/				VRH	ns	***	ns	/			
ČAT	***	***	***	***	/			ČAT	**	***	ns	ns	/		
JAS	***	***	***	***	***	/		JAS	***	***	***	***	***	/	
SRM	***	***	***	***	***	ns	/	SRM	ns	ns	ns	ns	***	***	/

Stepen statističke značajnosti: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$; ns – nije značajno

Lokaliteti Mojstrana, Vrhovo, Jasenovac i Sremska Mitrovica, značajno se razlikuju od ostalih u odnosu na sadržaj Cu u korenu vrste *J. regia* ($p < 0,05$, $p < 0,01$ i $p < 0,001$). Takođe, u odnosu na sadržaj Cu u listovima ove vrste, kao statistički značajno različiti u odnosu na ostale lokalitete izdvajaju se Mojstrana, Radovljica, Litija i Čatež ($p < 0,05$ i $p < 0,001$) (Tabela 98).

Tabela 98. Razlike između lokaliteta u odnosu na sadržaj Cu u korenu i listovima vrste *J. regia*

Sadržaj Cu u korenu								Sadržaj Cu u listovima							
	MOJ	RAD	LIT	VRH	ČAT	JAS	SRM		MOJ	RAD	LIT	VRH	ČAT	JAS	SRM
MOJ	/							MOJ	/						
RAD	***	/						RAD	***	/					
LIT	***	ns	/					LIT	***	***	/				
VRH	***	***	***	/				VRH	***	***	***	/			
ČAT	***	ns	ns	***	/			ČAT	***	***	***	***	/		
JAS	*	***	***	**	***	/		JAS	***	***	*	ns	***	/	
SRM	***	***	***	***	***	***	/	SRM	***	***	***	ns	***	ns	/

Stepen statističke značajnosti: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$; ns – nije značajno

U odnosu na sadržaj Fe u korenu *J. regia*, lokaliteti Čatež, Jasenovac i Sremska Mitrovica se značajno razlikuju od ostalih lokaliteta ($p < 0,05$ i $p < 0,001$), dok se u odnosu na sadržaj Fe u listovima ove vrste izdvaja samo Jasenovac ($p < 0,001$) (Tabela 99).

Tabela 99. Razlike između lokaliteta u odnosu na sadržaj Fe u korenu i listovima vrste *J. regia*

Sadržaj Fe u korenu								Sadržaj Fe u listovima							
	MOJ	RAD	LIT	VRH	ČAT	JAS	SRM		MOJ	RAD	LIT	VRH	ČAT	JAS	SRM
MOJ	/							MOJ	/						
RAD	ns	/						RAD	ns	/					
LIT	ns	ns	/					LIT	ns	ns	/				
VRH	ns	ns	ns	/				VRH	***	**	**	/			
ČAT	***	***	***	***	/			ČAT	ns	ns	ns	***	/		
JAS	***	***	***	***	***	/		JAS	***	***	***	***	***	/	
SRM	***	***	***	***	*	***	/	SRM	***	ns	ns	ns	***	***	/

Stepen statističke značajnosti: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$; ns – nije značajno

Lokaliteti Čatež, Jasenovac i Sremska Mitrovica, statistički se značajno razlikuju od ostalih lokaliteta u odnosu na sadržaj Li u korenu *J. regia* ($p < 0,001$), dok se po sadržaju ovog elementa u listovima izdvaja samo Jasenovac ($p < 0,001$) (Tabela 100).

Tabela 100. Razlike između lokaliteta u odnosu na sadržaj Li u korenu i listovima vrste *J. regia*

Sadržaj Li u korenu								Sadržaj Li u listovima							
	MOJ	RAD	LIT	VRH	ČAT	JAS	SRM		MOJ	RAD	LIT	VRH	ČAT	JAS	SRM
MOJ	/							MOJ	/						
RAD	ns	/						RAD	ns	/					
LIT	ns	ns	/					LIT	ns	ns	/				
VRH	ns	ns	ns	/				VRH	ns	ns	ns	/			
ČAT	***	***	***	***	/			ČAT	ns	ns	ns	ns	/		
JAS	***	***	***	***	***	/		JAS	***	***	***	***	***	/	
SRM	***	***	***	***	***	***	/	SRM	ns	ns	ns	ns	ns	***	/

Stepen statističke značajnosti: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$; ns – nije značajno

U odnosu na sadržaj Mn u korenu *J. regia*, utvrđene su statistički značajne razlike između lokaliteta Mojstrana, Litija, Radovljica i Vrhovo i lokaliteta Čatež, Jasenovac i Sremska Mitrovica ($p < 0,001$). Sa druge strane, svi analizirani lokaliteti se međusobno značajno razlikuju po sadržaju ovog elementa u listovima ($p < 0,01$ i $p < 0,001$) (Tabela 101).

Tabela 101. Razlike između lokaliteta u odnosu na sadržaj Mn u korenu i listovima vrste *J. regia*

Sadržaj Mn u korenu								Sadržaj Mn u listovima							
	MOJ	RAD	LIT	VRH	ČAT	JAS	SRM		MOJ	RAD	LIT	VRH	ČAT	JAS	SRM
MOJ	/							MOJ	/						
RAD	***	/						RAD	***	/					
LIT	***	***	/					LIT	***	***	/				
VRH	***	***	ns	/				VRH	***	***	***	/			
ČAT	***	***	***	***	/			ČAT	***	***	***	***	/		
JAS	***	***	***	***	ns	/		JAS	***	***	***	***	***	/	
SRM	***	***	***	***	ns	ns	/	SRM	***	***	***	**	***	***	/

Stepen statističke značajnosti: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$; ns – nije značajno

U odnosu na sadržaj Ni u korenu *J. regia*, lokaliteti Čatež, Jasenovac i Sremska Mitrovica se statistički značajno razlikuju od ostalih lokaliteta ($p < 0,001$), dok se u odnosu na sadržaj Ni u listovima izdvajaju Jasenovac i Sremska Mitrovica ($p < 0,001$) (Tabela 102).

Tabela 102. Razlike između lokaliteta u odnosu na sadržaj Ni u korenu i listovima vrste *J. regia*

Sadržaj Ni u korenu								Sadržaj Ni u listovima							
	MOJ	RAD	LIT	VRH	ČAT	JAS	SRM		MOJ	RAD	LIT	VRH	ČAT	JAS	SRM
MOJ	/							MOJ	/						
RAD	***	/						RAD	***	/					
LIT	**	ns	/					LIT	***	ns	/				
VRH	ns	***	***	/				VRH	ns	***	***	/			
ČAT	***	***	***	***	/			ČAT	ns	***	***	ns	/		
JAS	***	***	***	***	***	/		JAS	***	***	***	***	***	/	
SRM	***	***	***	***	***	***	/	SRM	***	***	***	***	***	***	/

Stepen statističke značajnosti: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$; ns – nije značajno

Lokaliteti Mojstrana, Čatež, Jasenovac i Sremska Mitrovica se značajno razlikuju od ostalih lokaliteta u odnosu na sadržaj Pb u korenu vrste *J. regia* ($p < 0,001$). Međutim, u odnosu na sadržaj ovog elementa u listovima, Litija, Vrhovo i Čatež se izdvajaju kao statistički značajno različiti lokaliteti od ostalih ($p < 0,001$), dok se međusobno ne razlikuju (ns) (Tabela 103).

Tabela 103. Razlike između lokaliteta u odnosu na sadržaj Pb u korenu i listovima vrste *J. regia*

Sadržaj Pb u korenu								Sadržaj Pb u listovima							
	MOJ	RAD	LIT	VRH	ČAT	JAS	SRM		MOJ	RAD	LIT	VRH	ČAT	JAS	SRM
MOJ	/							MOJ	/						
RAD	***	/						RAD	ns	/					
LIT	***	ns	/					LIT	***	***	/				
VRH	***	ns	ns	/				VRH	***	***	ns	/			
ČAT	***	***	***	***	/			ČAT	***	***	ns	ns	/		
JAS	***	***	***	***	***	/		JAS	ns	ns	***	***	***	/	
SRM	***	***	***	***	***	**	/	SRM	ns	ns	***	***	***	*	/

Stepen statističke značajnosti: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$; ns – nije značajno

U odnosu na sadržaj Se u korenu *J. regia*, Čatež, Jasenovac i Sremska Mitrovica se značajno razlikuju od ostalih lokaliteta ($p < 0,05$ i $p < 0,001$). Međutim, u odnosu na izmeren sadržaj ovog elementa u listovima utvrđene su samo pojedinačne razlike između istraživanih lokaliteta (Tabela 104).

Tabela 104. Razlike između lokaliteta u odnosu na sadržaj Se u korenu i listovima vrste *J. regia*

Sadržaj Se u korenu								Sadržaj Se u listovima							
	MOJ	RAD	LIT	VRH	ČAT	JAS	SRM		MOJ	RAD	LIT	VRH	ČAT	JAS	SRM
MOJ	/							MOJ	/						
RAD	**	/						RAD	ns	/					
LIT	ns	*	/					LIT	***	***	/				
VRH	ns	**	ns	/				VRH	ns	*	*	/			
ČAT	***	***	***	***	/			ČAT	ns	**	ns	ns	/		
JAS	***	*	***	***	***	/		JAS	ns	ns	**	ns	ns	/	
SRM	***	***	***	***	**	**	/	SRM	**	***	ns	ns	ns	ns	/

Stepen statističke značajnosti: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$; ns – nije značajno

U odnosu na sadržaj Sr u korenu *J. regia*, istraživani lokaliteti se međusobno značajno razlikuju, izuzev Litije i Čateža ($p < 0,05$ i $p < 0,001$). Rezultati takođe pokazuju da postoje značajne razlike između svih ispitivanih lokaliteta u odnosu na sadržaj Sr u listovima ove vrste ($p < 0,001$) (Tabela 105).

Tabela 105. Razlike između lokaliteta u odnosu na sadržaj Sr u korenu i listovima vrste *J. regia*

Sadržaj Sr u korenu								Sadržaj Sr u listovima							
	MOJ	RAD	LIT	VRH	ČAT	JAS	SRM		MOJ	RAD	LIT	VRH	ČAT	JAS	SRM
MOJ	/							MOJ	/						
RAD	***	/						RAD	***	/					
LIT	***	***	/					LIT	***	***	/				
VRH	***	***	***	/				VRH	***	***	***	/			
ČAT	***	***	ns	***	/			ČAT	***	***	***	***	/		
JAS	***	***	***	***	***	/		JAS	***	***	***	***	***	/	
SRM	***	***	***	***	***	***	/	SRM	***	***	***	***	***	***	/

Stepen statističke značajnosti: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$; ns – nije značajno

Svi analizirani lokaliteti se međusobno značajno razlikuju po sadržaju Zn u korenu i listovima. Izuzetak predstavlja utvrđena sličnost između lokaliteta Mojstrana i Radovljica na nivou korena, kao i Čatež i Jasenovac na nivou listova (ns) (Tabela 106).

Tabela 106. Razlike između lokaliteta u odnosu na sadržaj Zn u korenu i listovima vrste *J. regia*

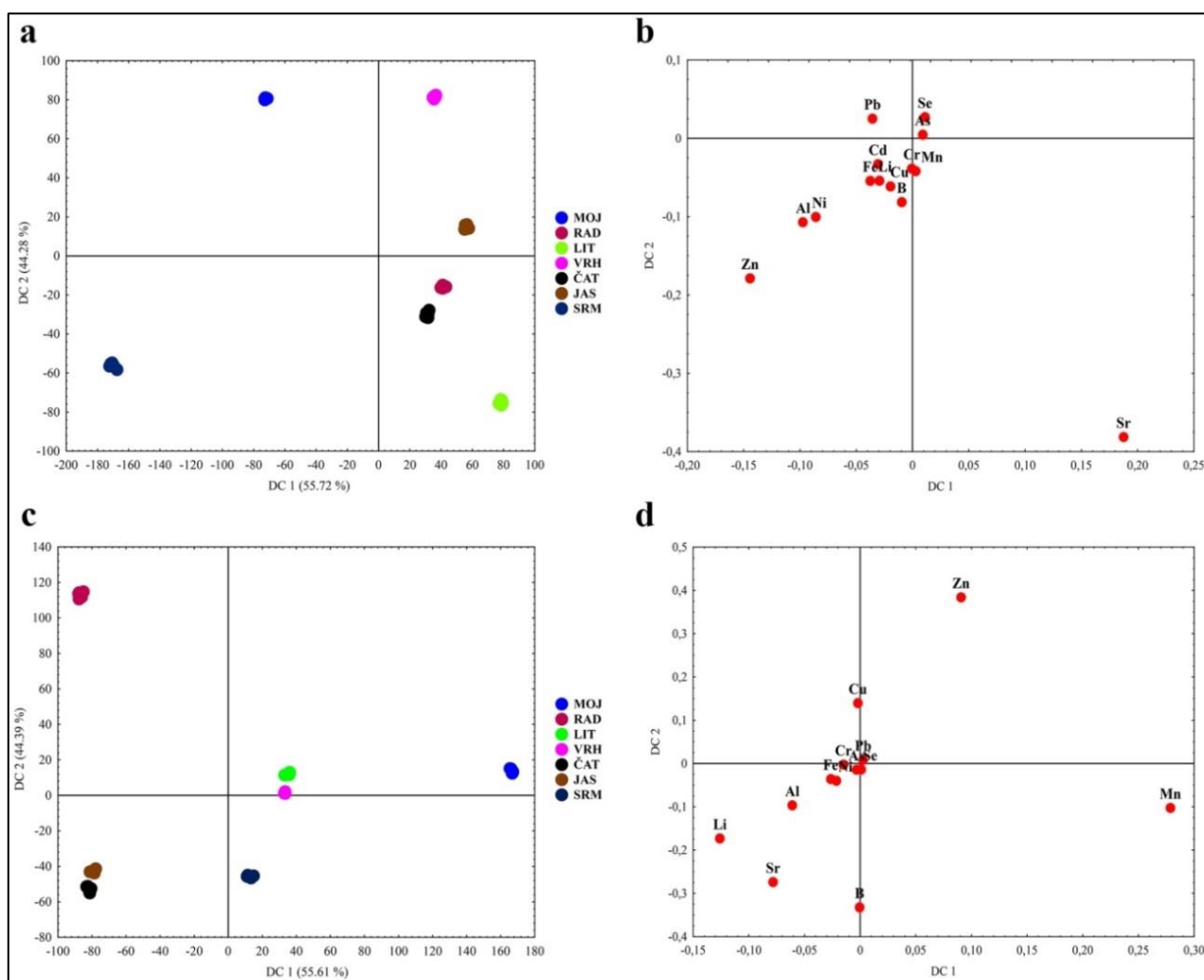
Sadržaj Zn u korenu								Sadržaj Zn u listovima							
	MOJ	RAD	LIT	VRH	ČAT	JAS	SRM		MOJ	RAD	LIT	VRH	ČAT	JAS	SRM
MOJ	/							MOJ	/						
RAD	ns	/						RAD	***	/					
LIT	*	***	/					LIT	***	***	/				
VRH	***	***	***	/				VRH	***	***	***	/			
ČAT	***	***	***	***	/			ČAT	***	***	***	***	/		
JAS	***	***	***	***	***	/		JAS	***	***	***	***	ns	/	
SRM	***	***	***	***	***	***	/	SRM	***	***	***	***	***	***	/

Stepen statističke značajnosti: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$; ns – nije značajno

Primenom kanonijske diskriminantne analize utvrđene su razlike između lokaliteta u odnosu na ukupni sadržaj hemijskih elemenata (Al, As, B, Cd, Cr, Cu, Fe, Li, Mn, Ni, Pb, Se, Sr, Zn) u korenu *J. regia* (Slika 39). Lokaliteti na kojima je ova vrsta uzorkovana su jasno razdvojeni na osnovu prve diskriminantne ose (DC1) koja objašnjava 55,72% varijabilnosti sadržaja navedenih elemenata. Takođe, utvrđeno je da najveći uticaj na razdvajanje lokaliteta imaju Sr i Zn. Na drugu diskriminantnu osu (DC2) koja opisuje 44,28% varijabilnosti, najveći uticaj imaju Sr, Zn, Se i Pb. Kao rezultat, diskriminantnom analizom se odvajaju lokaliteti Radovljica, Litija i Čatež po sadržaju Sr, zatim Jasenovac i Vrhovo po sadržaju Se i As, Mojstrana usled akumulacije Pb, kao i Sremska Mitrovica usled akumulacije Zn, Ni i Al u korenu *J. regia*.

Takođe, diskriminantna analiza je pokazala razlike između lokaliteta u odnosu na ukupni sadržaj analiziranih hemijskih elemenata u listovima *J. regia*, izuzev za Cd koji je bio ispod nivoa detekcije aparata. Lokaliteti na kojima je ova vrsta uzorkovana su jasno razdvojeni na osnovu prve diskriminantne ose (DC1) koja objašnjava 55,61% varijabilnosti, a najveći uticaj na razdvajanje

imaju Mn i Li. Na drugu diskriminantnu osu (DC2) koja opisuje 44,39% varijabilnosti najveći uticaj imaju Zn i B. Kao rezultat, diskriminantnom analizom se odvajaju lokaliteti Mojstrana, Litija i Vrholo po sadržaju Zn, Sremska Mitrovica po sadržaju Mn, kao i Jasenovac i Čatež po sadržaju Li, Al i Sr u listovima *J. regia* (Slika 39).



Slika 39. Razlike između lokaliteta u odnosu na sadržaj hemijskih elemenata u korenu i listu vrste *Juglans regia*: a) razdvajanje lokaliteta na osnovu sadržaja hemijskih elemenata u korenu; b) uticaj ispitivanih elemenata na razlike između lokaliteta; c) razdvajanje lokaliteta na osnovu sadržaja hemijskih elemenata u listovima; d) uticaj ispitivanih elemenata na razlike između lokaliteta.

4.5. Potencijal ispitivanih vrsta biljaka za akumulaciju hemijskih elemenata u listovima i korenu

Potencijal ispitivanih vrsta biljaka za akumulaciju hemijskih elemenata određen je putem biokoncentracionog (BCF) i translokacionog (TF) faktora, kao i korelisanjem sadržaja elemenata u zemljištu i biljkama (koren i listovi). S obzirom da je sadržaj hemijskih elemenata meren u zemljištu uzorkovanom sa tri dubine (0-10 cm, 0-30 cm i 30-60 cm), BCF i korelacije su izračunate za svaku od dubina.

4.5.1. *Salix alba*

Sadržaj ispitivanih hemijskih elemenata u korenu i listovima *S. alba* korelisan je sa njihovim sadržajem u zemljištu i prikazan je u Tabeli 107. Takođe, korelisan je sadržaj istih elemenata u korenu i listovima i prikazan je u Tabeli 108. Utvrđene su značajne pozitivne korelacije između sadržaja svih analiziranih elemenata u zemljištu i istih u korenu ($p < 0,001$), izuzev za Sr (Tabela 107). Pozitivne statistički značajne korelacije između sadržaja elemenata u zemljištu (na svim dubinama) i listovima *S. alba* ($p < 0,001$) su utvrđene za Al, B, Cu, Mn, Ni i Zn. Utvrđena je i statistički značajna pozitivna korelisanost između sadržaja As i Sr u zemljištu (na dubinama od 0-30 cm i 30-60 cm) i listovima, kao i između Cr (dubine 0-10 cm i 0-30 cm), i Fe (dubina 0-10 cm) u zemljištu i listovima *S. alba* ($p < 0,001$) (Tabela 107).

Korelacije sadržaja hemijskih elemenata u korenu i listovima vrste *S. alba* su bile pozitivne i statistički značajne ($p < 0,05$, $p < 0,01$ i $p < 0,001$) za sve elemente, izuzev za Se koji je negativno korelisan (Tabela 108).

Tabela 107. Korelacije između sadržaja hemijskih elemenata u zemljištu, korenu i listovima vrste *S. alba*

	Al	As	B	Cd	Cr	Cu	Fe	Li	Mn	Ni	Pb	Sr	Zn	
	Koren <i>S. alba</i>													
Zemljište	0-10	0,793***	0,764***	0,611***	0,752***	0,811***	0,570***	0,514***	0,636***	0,735***	0,732***	0,493***	0,114	0,682***
	0-30	0,870***	0,721***	0,557***	0,500***	0,918***	0,680***	0,604***	0,509***	0,741***	0,734***	0,538***	0,143	0,727***
	30-60	0,857***	0,788***	0,544***	0,781***	0,838***	0,852***	0,451***	0,558***	0,672***	0,796***	0,578***	-0,033	0,573***
		List <i>S. alba</i>												
	0-10	0,573***	0,108	0,778***	0,083	0,498***	0,399***	0,635***	0,058	0,787***	0,517***	-0,026	0,068	0,532***
	0-30	0,262*	0,422***	0,747***	-0,204	0,302*	0,352**	0,228	0,004	0,819***	0,539***	-0,004	0,322**	0,587***
30-60	0,312*	0,347**	0,889***	0,159	0,215	0,413**	0,217	0,063	0,709***	0,554***	-0,164	0,285*	0,658***	

Stepen statističke značajnosti: *p<0,05; **p<0,01; ***p<0,001; Vrednosti statistički značajnih korelacija su u bold formatu

Tabela 108. Korelacije između sadržaja hemijskih elemenata u korenu i listovima *S. alba*

	Al	As	B	Cd	Cr	Cu	Fe	Li	Mn	Ni	Pb	Se	Sr	Zn
List	Koren <i>S. alba</i>													
<i>S. alba</i>	0,477***	0,299*	0,710***	0,339**	0,420***	0,721***	0,517***	0,337**	0,850***	0,570***	0,531***	-0,329**	0,730***	0,288*

Stepen statističke značajnosti: *p<0,05; **p<0,01; ***p<0,001; Vrednosti statistički značajnih korelacija su u bold formatu

Biokoncentracijski faktor >1 je utvrđen za As u Radovljici (zemljište dubine 0-30 cm), Cd u Sremskoj Mitrovici, Šapcu i Beogradu, kao i za Zn u Zagrebu (zemljište dubine 0-10 cm) i Beogradu (dubine zemljišta 0-10 cm i 0-30 cm) (Tabela 109).

Tabela 109. Biokoncentracijski faktor (BCF) za vrstu *S. alba*

Lokalitet	Dubina (cm)	Al	As	B	Cd	Cr	Cu	Fe	Li	Mn	Ni	Pb	Sr	Zn
MOJ	0-10	0,01	0,56	0,21	/	/	0,16	0,01	/	0,02	/	0,04	0,33	0,35
	0-10	0,01	0,69	0,24	/	/	0,13	0,01	/	0,05	/	0,09	0,11	0,31
RAD	0-30	0,01	1,02	0,30	/	/	0,16	0,02	/	0,06	/	0,09	0,19	0,31
	30-60	0,01	0,63	0,25	/	/	0,14	0,02	/	0,06	/	0,05	0,10	0,09
LIT	0-10	0,02	0,50	0,27	/	/	0,41	0,14	0,38	0,15	0,15	0,13	0,34	0,43
	0-30	0,02	0,45	0,27	/	/	0,32	0,19	0,36	0,20	0,15	0,28	0,24	0,36
	30-60	0,02	0,45	0,27	/	/	0,35	0,19	0,38	0,25	0,17	0,13	0,35	0,36
VRH	0-10	0,01	0,30	0,10	/	0,02	0,37	0,01	/	0,03	0,02	0,11	0,17	0,49
	0-30	0,02	0,16	0,11	/	0,02	0,35	0,02	/	0,03	0,02	0,19	0,17	0,46
ČAT	0-10	0,03	0,38	0,14	/	0,03	0,02	0,02	/	0,07	0,03	0,07	0,20	0,55
	0-30	0,04	0,34	0,14	/	0,03	0,05	0,04	/	0,06	0,03	0,06	0,20	0,54
	30-60	0,03	0,32	0,12	/	0,02	0,15	0,03	/	0,06	0,02	0,05	0,20	0,37
ZAG	0-10	0,03	/	0,21	/	0,08	0,64	0,03	/	0,07	0,06	0,21	0,17	1,18
	0-30	0,03	/	0,19	/	0,06	0,45	0,04	/	0,06	0,05	0,14	0,14	0,95
	30-60	0,03	/	0,16	/	0,05	0,32	0,03	/	0,05	0,04	0,11	0,14	0,69
JAS	0-10	0,01	0,59	0,19	/	0,02	0,43	0,05	/	0,15	0,03	0,11	0,14	0,52
	0-30	0,02	0,55	0,20	/	0,02	0,44	0,07	/	0,15	0,03	0,07	0,13	0,51
	30-60	0,03	0,77	0,25	/	0,03	0,63	0,09	/	0,19	0,04	0,12	0,13	0,60
SLB	0-10	0,05	0,54	0,20	/	0,06	0,50	0,10	0,37	0,21	0,09	0,23	0,16	0,77
	0-30	0,07	0,56	0,21	/	0,05	0,37	0,16	0,31	0,22	0,08	0,15	0,14	0,63
	30-60	0,06	0,37	0,18	/	0,04	0,27	0,13	0,26	0,18	0,07	0,16	0,14	0,47
ŽUP	0-10	0,07	0,53	0,19	/	0,12	0,48	0,08	0,36	0,37	0,19	0,29	0,22	0,55
	0-30	0,12	0,41	0,19	/	0,12	0,40	0,14	0,36	0,35	0,17	0,29	0,23	0,50
	30-60	0,11	0,34	0,17	/	0,12	0,37	0,12	0,27	0,32	0,17	0,30	0,23	0,68
SRM	0-10	0,06	0,40	0,20	11,08	0,06	0,53	0,14	0,31	0,23	0,13	0,18	0,50	0,50
	0-30	0,06	0,36	0,21	/	0,05	0,46	0,12	0,26	0,27	0,11	0,13	0,25	0,39
	30-60	0,05	0,28	0,19	4,82	0,04	0,33	0,11	0,23	0,23	0,11	0,07	0,22	0,16
ŠAB	0-10	0,02	0,39	0,09	32,00	0,06	0,52	0,02	0,25	0,08	0,09	0,22	0,24	0,79
	0-30	0,04	0,43	0,12	/	0,07	0,59	0,05	0,29	0,10	0,11	0,27	0,25	0,89
	30-60	0,04	0,34	0,10	35,09	0,06	0,47	0,04	0,25	0,08	0,09	0,20	0,23	0,72
BEO	0-10	0,04	0,25	0,10	120,78	0,06	0,45	0,02	0,09	0,05	0,08	0,14	0,19	1,64
	0-30	0,07	0,29	0,11	88,72	0,07	0,36	0,04	0,10	0,07	0,08	0,18	0,20	1,30
	30-60	0,06	0,22	0,10	43,96	0,06	0,42	0,04	0,09	0,06	0,07	0,12	0,20	0,78

Vrednosti BCF>1 su u bold formatu

Translokacioni faktor >1 za *S. alba* je utvrđen za Al na lokalitetima Litija, Slavonski Brod i Šabac, za As u Mojstrani, za B na svim lokalitetima, za Cd na lokalitetima u delu toka od Mojstrane do Zagreba, za Cr, Fe i Li u Šapcu, za Cu u Mojstrani, Radovljici, Litiji i Jasenovcu, za Mn u Mojstrani, Radovljici, Vrhovu, Čatežu, Jasenovcu, Šapcu i Beogradu, za Ni u Jasenovcu i Šapcu, za Se i Sr na svim lokalitetima, kao i za Zn na svim ispitivanim lokalitetima osim u Beogradu (Tabela 110).

Tabela 110. Translokacioni faktor (TF) za vrstu *S. alba*

Lokalitet	Al	As	B	Cd	Cr	Cu	Fe	Li	Mn	Ni	Pb	Se	Sr	Zn
MOJ	0,51	1,49	5,31	2,00	/	2,16	0,64	/	5,69	/	/	1,18	3,58	4,04
RAD	0,59	/	4,85	1,00	/	1,92	0,42	/	1,32	/	/	1,13	2,42	8,56
LIT	2,05	/	4,25	1,00	/	1,21	0,22	0,53	0,82	0,23	0,23	/	1,48	2,19
VRH	0,56	/	6,36	6,20	/	0,68	0,64	/	2,77	/	/	3,46	2,12	6,87
ČAT	0,37	/	5,84	11,66	/	0,97	0,45	/	1,13	/	/	1,01	2,50	5,80
ZAG	0,15	/	7,85	2,52	/	0,73	0,20	/	0,92	/	/	4,84	2,11	1,71
JAS	0,52	/	6,88	0,50	/	1,51	0,23	/	1,11	1,29	/	1,09	2,18	3,84
SLB	1,05	/	4,86	0,99	0,92	0,88	0,38	0,77	0,49	0,53	0,35	1,17	2,05	3,72
ŽUP	0,32	0,23	4,48	0,54	0,18	0,55	0,31	0,39	0,56	0,22	0,14	1,50	1,70	2,18
SRM	0,05	/	4,56	0,50	/	0,35	0,03	/	0,46	/	/	1,55	2,57	3,09
ŠAB	4,11	0,98	8,80	0,30	1,58	0,51	3,14	1,05	1,57	1,30	0,84	1,52	2,22	1,63
BEO	0,04	/	6,33	0,01	/	0,39	0,09	/	1,00	0,29	/	1,43	2,09	0,46

Vrednosti TF>1 su u bold formatu

4.5.2. *Populus nigra*

Značajne pozitivne korelacije sadržaja elemenata u zemljištu na svim dubinama i u korenu *P. nigra* ($p<0,01$ i $p<0,001$) su utvrđene za B, Fe, Li, Mn, Ni i Pb. Pored toga, utvrđene su i značajne korelacije između sadržaja As, Cd i Sr (dubine 0-10 cm), kao i Cr i Cu (dubine od 30-60 cm) u zemljištu i korenu ove vrste (Tabela 111). Takođe, sadržaj As (sve dubine), i Mn i Ni (dubine 0-10 cm i 0-30 cm) u zemljištu je bio pozitivno korelisan sa sadržajem ovih elemenata u listovima. Sa druge strane, sadržaj Cr, Cu i Pb u zemljištu je bio statistički značajno negativno korelisan sa istim u listovima. Takođe, sadržaji Al i Fe (dubine od 0-30 cm i 30-60 cm), kao i sadržaj Cd (30-60 cm) u zemljištu, bili su statistički značajno negativno korelisani sa istim u listovima *P. nigra* (Tabela 111).

Statistički značajne pozitivne korelacije su utvrđene između izmerenih sadržaja B, Cd, Mn, Ni, Se i Zn u korenu i listovima vrste *P. nigra* ($p<0,01$ i $p<0,001$), dok su statistički značajne negativne korelacije ($p<0,05$ i $p<0,001$) utvrđene za sadržaj As i Fe (Tabela 112).

Tabela 111. Korelacije između sadržaja hemijskih elemenata u zemljištu, korenu i listovima vrste *P. nigra*

	Al	As	B	Cd	Cr	Cu	Fe	Li	Mn	Ni	Pb	Sr	Zn	
	Koren <i>P. nigra</i>													
Zemljište	0-10	-0,139	-0,519***	0,679***	0,443***	0,162	0,041	0,356**	0,718***	0,662***	0,654***	0,684***	0,317*	0,148
	0-30	0,235	-0,226	0,670***	0,123	0,178	0,167	0,581***	0,599***	0,659***	0,593***	0,595***	0,193	0,109
	30-60	0,089	-0,199	0,740***	0,106	0,444**	0,396**	0,699***	0,677***	0,623***	0,569***	0,639***	0,199	-0,015
	List <i>P. nigra</i>													
Zemljište	0-10	-0,191	0,590***	0,197	0,018	-0,276*	-0,373**	-0,203	/	0,448***	0,525***	-0,307*	0,033	-0,082
	0-30	-0,565***	0,463***	0,258	-0,246	-0,500***	-0,596***	-0,498***	/	0,360*	0,451**	-0,574***	-0,052	-0,186
	30-60	-0,589***	0,452**	0,097	-0,570***	-0,632***	-0,709***	-0,455**	/	0,142	0,159	-0,530***	0,241	-0,277

Stepen statističke značajnosti: *p<0,05; **p<0,01; ***p<0,001; Vrednosti statistički značajnih korelacija su u bold formatu

Tabela 112. Korelacije između sadržaja hemijskih elemenata u korenu i listovima vrste *P. nigra*

	Al	As	B	Cd	Cr	Cu	Fe	Li	Mn	Ni	Pb	Se	Sr	Zn
List	Koren <i>P. nigra</i>													
<i>P. nigra</i>	-0,199	-0,694***	0,431**	0,348**	-0,080	-0,191	-0,313*	/	0,532***	0,345*	0,042	0,430**	0,253	0,413**

Stepen statističke značajnosti: *p<0,05; **p<0,01; ***p<0,001; Vrednosti statistički značajnih korelacija su u bold formatu

Biokonzentracioni faktor >1 za vrstu *P. nigra* je utvrđen za As u Vrhovu (zemljište dubine 0-10 cm), za Cd u Sremskoj Mitrovici i Šapcu (za sve analizirane dubine zemljišta), kao i za Zn u Zagrebu (zemljište dubine 0-10 cm) i Jasenovcu (na svim analiziranim dubinama zemljišta) (Tabela 113).

Tabela 113. Biokonzentracioni faktor (BCF) za vrstu *P. nigra*

Lokalitet	Dubina (cm)	Al	As	B	Cd	Cr	Cu	Fe	Li	Mn	Ni	Pb	Sr	Zn
MOJ	0-10	0,14	0,58	0,31	/	0,34	0,71	0,16	/	0,12	0,34	0,07	0,36	0,19
VRH	0-10	0,01	1,21	0,10	/	0,16	0,29	0,02	/	0,05	0,05	0,08	0,11	0,16
	0-30	0,01	0,66	0,11	/	0,16	0,28	0,03	/	0,06	0,05	0,14	0,11	0,15
ČAT	0-10	0,01	0,71	0,11	/	0,12	0,01	0,01	/	0,02	0,04	0,11	0,16	0,26
	0-30	0,01	0,63	0,11	/	0,11	0,03	0,02	/	0,02	0,04	0,10	0,16	0,26
	30-60	0,01	0,59	0,09	/	0,07	0,09	0,01	/	0,02	0,03	0,09	0,16	0,18
ZAG	0-10	0,02	/	0,28	/	0,14	0,62	0,03	/	0,05	0,10	0,11	0,24	1,20
	0-30	0,02	/	0,25	/	0,10	0,44	0,04	/	0,04	0,08	0,08	0,21	0,97
	30-60	0,02	/	0,21	/	0,08	0,31	0,03	/	0,04	0,06	0,06	0,21	0,70
JAS	0-10	0,04	/	0,29	/	0,17	0,43	0,06	0,21	0,13	0,11	0,11	0,25	1,20
	0-30	0,06	/	0,31	/	0,17	0,44	0,09	0,20	0,14	0,11	0,07	0,23	1,17
	30-60	0,08	/	0,39	/	0,22	0,62	0,12	0,25	0,17	0,15	0,13	0,23	1,38
ŽUP	0-10	0,01	/	0,20	/	0,02	0,28	0,01	/	0,04	0,05	0,05	0,15	0,31
	0-30	0,01	/	0,20	/	0,02	0,23	0,02	/	0,04	0,04	0,05	0,16	0,28
	30-60	0,01	/	0,17	/	0,02	0,22	0,02	/	0,04	0,04	0,05	0,16	0,38
SRM	0-10	0,03	/	0,14	4,33	0,05	0,23	0,06	0,14	0,08	0,08	0,09	0,40	0,23
	0-30	0,03	/	0,15	/	0,04	0,20	0,05	0,12	0,10	0,07	0,06	0,20	0,18
	30-60	0,03	/	0,13	1,86	0,03	0,14	0,05	0,11	0,08	0,07	0,03	0,18	0,07
ŠAB	0-10	0,02	/	0,13	7,36	0,06	0,23	0,04	0,17	0,07	0,07	0,10	0,23	0,33
	0-30	0,03	/	0,17	/	0,07	0,25	0,08	0,19	0,09	0,08	0,12	0,24	0,38
	30-60	0,03	/	0,14	8,06	0,06	0,20	0,07	0,16	0,07	0,07	0,09	0,22	0,30
BEO	0-10	0,01	/	0,17	0,72	0,03	0,14	0,03	0,10	0,10	0,05	0,03	0,31	0,51
	0-30	0,02	/	0,19	0,53	0,03	0,11	0,05	0,10	0,13	0,05	0,04	0,32	0,40
	30-60	0,02	/	0,18	0,26	0,03	0,14	0,05	0,10	0,11	0,05	0,02	0,31	0,24

Vrednosti $BCF > 1$ su u bold formatu

Translokacioni faktor >1 za vrstu *P. nigra* je utvrđen za B i Cd na svim ispitivanim lokalitetima, za Cu u Vrhovu, Čatežu i Jasenovcu, za Mn u Vrhovu, Čatežu, Jasenovcu i Županji, za Pb u Čatežu, za Se u Mojstrani, Čatežu i Zagrebu, za Sr na svim ispitivanim lokalitetima osim u Beogradu, kao i za Zn na svim ispitivanim lokalitetima izuzev Sremske Mitrovice i Beograda (Tabela 114). Translokacioni faktor (TF) nije izračunat za As i Li, s obzirom da su bili ispod nivoa detekcije aparata u korenu i/ili listovima.

Tabela 114. Translokacioni faktor (TF) za vrstu *P. nigra*

Lokalitet	Al	As	B	Cd	Cr	Cu	Fe	Li	Mn	Ni	Pb	Se	Sr	Zn
MOJ	0,05	/	4,12	/	/	0,54	0,06	/	0,36	/	0,18	1,44	2,09	2,18
VRH	0,24	/	3,51	/	0,05	1,16	0,11	/	2,40	/	0,18	0,90	2,13	2,18
ČAT	0,30	/	5,26	6,87	0,06	1,19	0,31	/	2,83	0,27	1,04	1,05	2,15	5,29
ZAG	0,05	/	4,98	1,87	/	0,62	0,07	/	0,92	/	0,24	1,10	1,53	2,46
JAS	0,27	/	4,15	1,49	0,08	1,34	0,22	/	1,97	0,18	0,21	/	1,35	1,22
ŽUP	0,17	/	3,77	3,00	/	0,74	0,10	/	2,13	0,43	/	/	3,83	3,48
SRM	0,06	/	7,12	1,00	/	0,56	0,03	/	0,88	0,03	/	/	3,37	0,40
ŠAB	0,03	/	4,51	1,50	/	0,62	0,02	/	0,99	0,06	/	/	1,73	3,91
BEO	0,02	/	1,63	1,48	/	0,48	0,02	/	0,30	/	/	/	0,94	0,59

Vrednosti $TF > 1$ su u bold formatu

4.5.3. *Populus alba*

Pozitivne i statistički značajne korelacije ($p < 0,01$ i $p < 0,001$) sadržaja elemenata u zemljištu i u korenu *P. alba* su utvrđene za sledeće elemente: Cd (zemljište dubine od 0-10 cm i 0-30 cm), Cr, Pb i Zn (zemljište dubine 0-10 cm), kao i za Mn (zemljište dubine 0-30 cm) (Tabela 115). Statistički značajne negativne korelacije ($p < 0,05$, $p < 0,01$ i $p < 0,001$) su utvrđene za sadržaj Al, B, Fe, Li i Sr u korenu i zemljištu dubine 0-30 cm, zatim za Cu u korenu i zemljištu na dubinama 0-30 cm i 30-60 cm, kao i za sadržaj As i Cr u korenu i zemljištu dubine 30-60 cm. Sa druge strane, sadržaj elemenata u listu je bio pozitivno i statistički značajno korelisan ($p < 0,05$, $p < 0,01$ i $p < 0,001$) sa sadržajem sledećih elemenata u zemljištu: Cd i Fe (na svim dubinama), Mn (na dubinama 0-10 cm i 0-30 cm), Cr, Ni i Sr (na dubinama 0-30 cm i 30-60 cm), kao i sa B i Zn (na dubinama 0-10 cm i 30-60 cm). Sadržaj Cu u listovima je statistički značajno pozitivno korelisan sa sadržajem Cu u zemljištu dubine 0-10 cm ($p < 0,01$), dok je sadržaj Sr u listovima značajno negativno korelisan sa sadržajem Sr na istoj dubini zemljišta ($p < 0,01$) (Tabela 115).

Korelacije sadržaja hemijskih elemenata u korenu i listovima vrste *P. alba* su bile pozitivne i statistički značajne ($p < 0,01$ i $p < 0,001$) za Cd, Mn, Pb i Zn, dok su značajne negativne korelacije ($p < 0,01$) utvrđene za sadržaj Al i Cr (Tabela 116).

Tabela 115. Korelacije između sadržaja hemijskih elemenata u zemljištu, korenu i listovima vrste *P. alba*

	Al	As	B	Cd	Cr	Cu	Fe	Li	Mn	Ni	Pb	Sr	Zn	
	Koren <i>P. alba</i>													
Zemljište	0-10	-0,168	-0,273	-0,381	0,672***	0,524**	-0,334	-0,151	-0,243	0,358	-0,258	0,688***	-0,310	0,725***
	0-30	-0,753***	-0,336	-0,756***	0,565**	-0,352	-0,634***	-0,750***	-0,692***	0,517**	0,282	0,346	-0,627**	0,203
	30-60	-0,229	-0,434*	-0,396	0,191	-0,674***	-0,658***	-0,394	-0,294	0,159	-0,316	0,338	-0,137	0,176
	List <i>P. alba</i>													
Zemljište	0-10	0,291	/	0,586**	0,807***	-0,321	0,578**	0,852***	/	0,754***	-0,092	0,236	-0,556**	0,755***
	0-30	0,176	/	0,281	0,749***	0,568**	0,068	0,574**	/	0,645***	0,909***	-0,090	0,455*	0,380
	30-60	0,291	/	0,552**	0,483*	0,429*	-0,034	0,885***	/	0,362	0,704***	-0,081	0,927***	0,418*

Stepen statističke značajnosti: *p<0,05; **p<0,01; ***p<0,001; Vrednosti statistički značajnih korelacija su u bold formatu

Tabela 116. Korelacije između sadržaja hemijskih elemenata u korenu i listovima vrste *P. alba*

	Al	As	B	Cd	Cr	Cu	Fe	Li	Mn	Ni	Pb	Se	Sr	Zn
	Koren <i>P. alba</i>													
List <i>P. alba</i>	-0,545**	/	0,322	0,861***	-0,541**	0,335	-0,302	/	0,771***	0,304	0,528**	-0,163	-0,031	0,871***

Stepen statističke značajnosti: *p<0,05; **p<0,01; ***p<0,001; Vrednosti statistički značajnih korelacija su u bold formatu

Biokoncentracijski faktor (BCF) vrste *P. alba* je bio <1 za sve ispitivane elemente osim za Cd, koji je bio >1 na lokalitetima Sremska Mitrovica, Šabac, i Beograd (Tabela 117).

Tabela 117. Biokoncentracijski faktor (BCF) za vrstu *P. alba*

Lokalitet	Dubina (cm)	Al	As	B	Cd	Cr	Cu	Fe	Li	Mn	Ni	Pb	Sr	Zn
ŽUP	0-10	0,02	0,29	0,14	/	0,06	0,21	0,05	0,22	0,09	0,09	0,12	0,22	0,32
	0-30	0,03	0,22	0,14	/	0,06	0,18	0,09	0,22	0,09	0,08	0,12	0,22	0,29
	30-60	0,03	0,18	0,12	/	0,06	0,16	0,07	0,16	0,08	0,08	0,12	0,22	0,40
SRM	0-10	0,03	0,15	0,11	4,32	0,06	0,18	0,05	0,13	0,07	0,07	0,16	0,33	0,26
	0-30	0,02	0,14	0,12	/	0,05	0,16	0,04	0,11	0,08	0,06	0,12	0,17	0,20
	30-60	0,02	0,11	0,10	1,86	0,04	0,11	0,04	0,10	0,07	0,06	0,06	0,15	0,08
ŠAB	0-10	0,02	0,15	0,12	14,32	0,07	0,27	0,04	0,18	0,06	0,05	0,25	0,25	0,27
	0-30	0,04	0,17	0,15	/	0,08	0,31	0,09	0,20	0,07	0,06	0,30	0,26	0,30
	30-60	0,04	0,13	0,13	16,14	0,07	0,25	0,08	0,17	0,06	0,06	0,22	0,24	0,24
BEO	0-10	0,01	0,08	0,05	2,87	0,03	0,08	0,01	0,07	0,06	0,02	0,08	0,15	0,17
	0-30	0,01	0,10	0,06	2,10	0,03	0,06	0,02	0,07	0,08	0,02	0,10	0,16	0,17
	30-60	0,01	0,07	0,06	1,04	0,03	0,07	0,02	0,07	0,07	0,02	0,07	0,16	0,10

Vrednosti BCF>1 su u bold formatu

Translokacioni faktor >1 za *P. alba* je utvrđen za B, Sr i Zn na svim ispitivanim lokalitetima, za Cd u Županji i Sremskoj Mitrovici, za Cu i Mn u Beogradu, kao i za Se u Županji, Sremskoj Mitrovici i Šapcu (Tabela 118). Na svim ispitivanim lokalitetima, TF<1 je utvrđen za Al, Cr, Fe, Ni i Pb. Translokacioni faktor nije izračunat za As i Li, s obzirom da su ovi elementi bili ispod nivoa detekcije aparata u korenu i/ili listovima *P. alba*.

Tabela 118. Translokacioni faktor (TF) za vrstu *P. alba*

Lokalitet	Al	As	B	Cd	Cr	Cu	Fe	Li	Mn	Ni	Pb	Se	Sr	Zn
ŽUP	0,11	/	3,71	1,00	0,07	0,64	0,03	/	0,59	0,15	0,19	1,43	1,80	1,80
SRM	0,08	/	9,25	1,50	0,06	0,62	0,04	/	0,65	/	0,09	1,28	3,20	2,87
ŠAB	0,04	/	9,04	0,50	0,03	0,64	0,03	/	0,64	/	0,15	3,84	1,72	5,63
BEO	0,30	/	14,57	0,75	0,12	1,21	0,16	/	1,19	0,32	0,12	0,89	2,57	4,76

Vrednosti TF>1 su u bold formatu

4.5.4. *Ulmus glabra*

Pozitivne statistički značajne korelacije ($p<0,05$, $p<0,01$ i $p<0,001$) između sadržaja elemenata u zemljištu (na svim dubinama) i korenu *U. glabra* su utvrđene za As, Cd, Ni i Zn. Pored toga, utvrđene su i statistički značajne pozitivne korelacije u zemljištu i korenu ($p<0,05$, $p<0,01$ i $p<0,001$) za Mn (dubine 0-10 cm), Cr i Pb (dubine od 0-10 cm i 0-30 cm) (Tabela 119). Sa druge strane, sadržaj elemenata u listovima i zemljištu je bio pozitivno i statistički značajno ($p<0,01$ i $p<0,001$) korelisan za Cr (na dubinama od 0-10 cm i 0-30 cm), B, Mn i Ni (na svim dubinama), kao i za Al, Fe i Zn (na dubini 0-10 cm). Takođe, utvrđene su i statistički značajne negativne ($p<0,05$ i $p<0,001$) korelacije za As i Li u listovima i zemljištu na svim dubinama, zatim za Cu na dubinama od 0-10 cm i 0-30 cm, kao i za Cd na dubinama zemljišta od 0-10 cm i 30-60 cm (Tabela 119).

Korelacije sadržaja hemijskih elemenata u korenu i listovima *U. glabra* su bile pozitivne i statistički značajne ($p<0,05$, $p<0,01$ i $p<0,001$) za sve elemente izuzev za As, Mn i Sr (Tabela 120).

Tabela 119. Korelacije između sadržaja hemijskih elemenata u zemljištu, korenu i listovima vrste *U. glabra*

	Al	As	B	Cd	Cr	Cu	Fe	Li	Mn	Ni	Pb	Sr	Zn	
	Koren <i>U. glabra</i>													
Zemljište	0-10	0,228	0,302*	0,153	0,574***	0,384**	0,004	0,133	-0,046	0,308*	0,504***	0,275*	-0,236	0,698***
	0-30	0,177	0,311*	0,088	0,402**	0,452***	0,103	0,147	-0,048	0,241	0,541***	0,371**	-0,203	0,620***
	30-60	0,136	0,286*	-0,004	0,587***	0,142	0,175	0,045	-0,060	0,109	0,331**	0,216	0,103	0,361**
	List <i>U. glabra</i>													
Zemljište	0-10	0,379**	-0,510***	0,680***	-0,318*	0,276*	-0,296*	0,403**	-0,334**	0,365**	0,591***	0,025	-0,105	0,352**
	0-30	0,132	-0,488***	0,660***	-0,165	0,267*	-0,330*	0,177	-0,319*	0,412**	0,616***	0,206	0,250	0,223
	30-60	0,199	-0,442***	0,592***	-0,318*	-0,041	-0,234	0,127	-0,318*	0,385**	0,434***	-0,133	-0,086	0,000

Stepen statističke značajnosti: *p<0,05; **p<0,01; ***p<0,001; Vrednosti statistički značajnih korelacija su u bold formatu

Tabela 120. Korelacije između sadržaja hemijskih elemenata u korenu i listovima vrste *U. glabra*

	Al	As	B	Cd	Cr	Cu	Fe	Li	Mn	Ni	Pb	Se	Sr	Zn
	Koren <i>U. glabra</i>													
List														
<i>U. glabra</i>	0,556***	-0,126	0,353**	0,480***	0,592***	0,298*	0,485***	0,661***	0,251	0,630***	0,524***	0,492***	0,207	0,560***

Stepen statističke značajnosti: *p<0,05; **p<0,01; ***p<0,001; Vrednosti statistički značajnih korelacija su u bold formatu

Biokonzentracioni faktor >1 za vrstu *U. glabra* je utvrđen za As u Zagrebu (zemljište dubina od 0-10 cm i 0-30 cm) i Jasenovcu (sve dubine zemljišta), Cd u Sremskoj Mitrovici, Šapcu (zemljište dubina od 0-10 cm i 30-60 cm) i Beogradu (zemljište dubine od 0-10 cm), kao i za Cu i Pb u Jasenovcu (zemljište dubine 30-60 cm), i Li u Jasenovcu (sve dubine zemljišta) (Tabela 121). Biokonzentracioni faktor je bio <1 za Al, B, Cr, Fe, Mn, Ni, Pb, Sr i Zn na svim ispitivanim lokalitetima.

Tabela 121. Biokonzentracioni faktor (BCF) za vrstu *U. glabra*

Lokalitet	Dubina (cm)	Al	As	B	Cd	Cr	Cu	Fe	Li	Mn	Ni	Pb	Sr	Zn
RAD	0-10	0,05	0,35	0,26	/	0,18	0,25	0,07	0,34	0,12	0,13	0,18	0,28	0,05
	0-30	0,11	0,52	0,32	/	0,24	0,32	0,13	0,48	0,15	0,18	0,19	0,50	0,04
	30-60	0,09	0,32	0,27	/	0,27	0,28	0,11	0,34	0,14	0,22	0,09	0,27	0,01
LIT	0-10	0,02	/	0,19	/	0,05	0,52	0,01	/	0,10	0,03	0,08	0,38	0,12
	0-30	0,03	/	0,19	/	0,05	0,40	0,02	/	0,14	0,03	0,16	0,27	0,10
	30-60	0,03	/	0,19	/	0,05	0,45	0,02	/	0,17	0,03	0,08	0,39	0,10
ČAT	0-10	0,01	0,27	0,08	/	0,07	0,02	0,01	/	0,01	/	0,05	0,13	0,14
	0-30	0,01	0,24	0,08	/	0,06	0,05	0,01	/	0,01	/	0,05	0,13	0,14
	30-60	0,01	0,23	0,07	/	0,04	0,15	0,01	/	0,01	/	0,04	0,13	0,10
ZAG	0-10	0,01	1,06	0,18	/	0,09	0,54	0,01	/	0,03	/	/	0,13	0,34
	0-30	0,01	1,04	0,16	/	0,06	0,38	0,01	/	0,03	/	/	0,11	0,27
	30-60	0,01	0,83	0,14	/	0,05	0,27	0,01	/	0,02	/	/	0,12	0,20
JAS	0-10	0,40	1,29	0,57	/	0,62	0,97	0,46	1,44	0,55	0,65	0,97	0,45	0,29
	0-30	0,59	1,19	0,60	/	0,63	0,98	0,68	1,34	0,55	0,67	0,63	0,41	0,28
	30-60	0,79	1,68	0,77	/	0,82	1,40	0,87	1,72	0,69	0,89	1,09	0,41	0,33
SLB	0-10	0,10	0,30	0,23	/	0,26	0,55	0,10	0,35	0,11	0,19	0,40	0,28	0,22
	0-30	0,14	0,32	0,25	/	0,22	0,41	0,15	0,30	0,11	0,17	0,26	0,25	0,18
	30-60	0,12	0,21	0,21	/	0,19	0,30	0,12	0,24	0,09	0,14	0,29	0,25	0,14
ŽUP	0-10	0,03	0,26	0,13	/	0,06	0,20	0,03	0,14	0,07	0,07	0,12	0,19	0,19
	0-30	0,06	0,20	0,13	/	0,06	0,17	0,05	0,14	0,06	0,06	0,12	0,20	0,17
	30-60	0,05	0,17	0,11	/	0,06	0,15	0,05	0,10	0,06	0,06	0,13	0,20	0,23
SRM	0-10	0,06	0,30	0,12	6,16	0,06	0,31	0,07	0,16	0,05	0,07	0,13	0,42	0,22
	0-30	0,05	0,27	0,13	/	0,05	0,26	0,06	0,13	0,05	0,06	0,09	0,22	0,17
	30-60	0,05	0,21	0,11	2,66	0,04	0,19	0,05	0,12	0,05	0,06	0,05	0,19	0,07
ŠAB	0-10	0,01	0,40	0,08	3,41	0,04	0,15	0,01	/	0,01	0,03	0,13	0,21	0,17
	0-30	0,02	0,44	0,10	/	0,05	0,17	0,03	/	0,02	0,04	0,15	0,22	0,19
	30-60	0,02	0,35	0,09	3,84	0,04	0,13	0,02	/	0,01	0,03	0,11	0,20	0,15
BEO	0-10	0,06	0,18	0,11	1,16	0,09	0,17	0,04	0,16	0,08	0,08	0,11	0,14	0,10
	0-30	0,10	0,20	0,12	0,85	0,09	0,13	0,08	0,17	0,11	0,08	0,14	0,15	0,10
	30-60	0,10	0,15	0,11	0,42	0,08	0,16	0,07	0,16	0,09	0,08	0,09	0,15	0,06

Vrednosti BCF >1 su u bold formatu

Translokacioni faktor >1 za vrstu *U. glabra* je utvrđen za Al na lokalitetu Čatež, za As u Radovljici, Zagrebu i Slavonskom Brodu, za Cu u Radovljici, Zagrebu, Slavonskom Brodu i Šapcu, za Fe u Čatežu i Slavonskom Brodu, za Li u Slavonskom Brodu, za Mn u Čatežu, Zagrebu, Slavonskom Brodu i Šapcu, za Ni u Šapcu, za Pb u Čatežu i za Se u Litiji, Jasenovcu i Županji. (Tabela 122). Takođe, utvrđen je $TF > 1$ za B na svim ispitivanim lokalitetima, kao i za Sr na svim lokalitetima osim Radovljice i Jasenovca, i za Zn na svim lokalitetima izuzev Zagreba, Sremske Mitrovice i Šapca (Tabela 122). Translokacioni faktor je bio <1 za Cd i Cr na svim ispitivanim lokalitetima.

Tabela 122. Translokacioni faktor (TF) za vrstu *U. glabra*

Lokalitet	Al	As	B	Cd	Cr	Cu	Fe	Li	Mn	Ni	Pb	Se	Sr	Zn
RAD	0,11	1,45	2,50	/	/	1,21	0,06	/	0,14	0,04	/	0,96	0,84	1,47
LIT	0,16	/	4,12	/	/	0,89	0,35	/	0,46	0,62	/	1,07	1,23	1,89
ČAT	2,68	0,90	5,87	/	0,53	0,89	3,06	/	6,46	/	1,22	0,82	2,01	1,12
ZAG	0,64	1,06	4,25	/	/	1,04	0,83	/	1,63	/	/	0,83	1,98	0,93
JAS	0,35	0,47	1,39	0,25	0,31	0,69	0,29	0,32	0,34	0,43	0,33	1,03	0,73	2,09
SLB	0,87	1,82	3,21	0,50	0,50	1,00	1,02	1,26	1,00	0,99	0,76	0,64	1,33	2,43
ŽUP	0,19	0,82	4,55	/	0,07	0,98	0,18	/	0,46	0,75	/	1,17	1,55	1,43
SRM	0,10	0,54	3,46	/	/	0,69	0,08	/	0,63	0,51	0,26	0,98	1,34	0,63
ŠAB	0,34	0,24	4,26	/	0,15	1,14	0,32	/	1,85	1,09	0,22	0,89	1,55	0,96
BEO	0,08	0,41	2,93	/	0,04	0,55	0,09	/	0,21	0,09	0,15	0,96	2,11	1,26

Vrednosti $TF > 1$ su u bold formatu

4.5.5. *Juglans regia*

Korelacije sadržaja elemenata u korenu vrste *J. regia* sa sadržajem elemenata na svim dubinama zemljišta su bile pozitivne i statistički značajne ($p < 0,05$, $p < 0,01$ i $p < 0,001$) za Al, B, Fe, Li, Mn i Ni. Pored toga, utvrđene su i pozitivne, statistički značajne korelacije između sadržaja elemenata u korenu i zemljištu za sledeće elemente: Zn (na dubinama 0-30 cm i 30-60 cm), Cr i Pb (na dubinama 0-10 cm i 0-30 cm), kao i za Cd i Cu (na dubinama 0-10 cm i 30-60 cm) (Tabela 123). Sa druge strane, sadržaj As u korenu je statistički značajno negativno korelisan sa koncentracijama As u zemljištu na svim dubinama, dok je Sr u korenu negativno korelisan sa zemljištem na dubini 30-60 cm. Sadržaj elemenata u listovima je bio pozitivno i statistički značajno korelisan sa sadržajem elemenata u zemljištu i to za: B (na svim dubinama), Ni (na dubini 0-10 cm), Pb i Sr (na dubini 0-30 cm). Sa druge strane, sadržaj elemenata u listovima je bio statistički značajno negativno korelisan sa sadržajem elemenata u zemljištu i to za: Cu (na svim dubinama), Cr (na dubini 30-60 cm), i Li (na dubini 0-30 cm) (Tabela 123).

Sadržaj Al, B, Fe, Ni, Pb, Sr i Zn u korenu je bio statistički značajno pozitivno korelisan ($p < 0,05$, $p < 0,01$ i $p < 0,001$) sa istim u listovima *J. regia* (Tabela 124).

Tabela 123. Korelacije između sadržaja hemijskih elemenata u zemljištu, korenu i listovima vrste *J. regia*

	Al	As	B	Cd	Cr	Cu	Fe	Li	Mn	Ni	Pb	Sr	Zn	
Koren <i>J. regia</i>														
Zemljište	0-10	0,706^{***}	-0,348[*]	0,634^{***}	0,615^{***}	0,571^{***}	0,434^{**}	0,554^{***}	0,552^{***}	0,647^{***}	0,627^{***}	0,242	0,296	
	0-30	0,825^{***}	-0,373[*]	0,472^{**}	/	0,486^{**}	0,190	0,693^{***}	0,635^{***}	0,631^{***}	0,645^{***}	0,781^{***}	0,088	0,357[*]
	30-60	0,890^{***}	-0,597^{***}	0,510^{**}	0,628^{***}	0,349	0,670^{***}	0,560^{**}	0,707^{***}	0,600^{***}	0,687^{***}	0,115	-0,615^{***}	0,689^{***}
List <i>J. regia</i>														
Zemljište	0-10	0,158	0,247	0,673^{***}	/	-0,135	-0,451^{**}	0,267	-0,204	-0,118	0,407^{**}	0,154	-0,252	-0,240
	0-30	0,067	0,313	0,733^{***}	/	-0,321	-0,744^{***}	-0,016	-0,353[*]	0,201	0,097	0,332[*]	0,427^{**}	-0,130
	30-60	0,000	0,259	0,803^{***}	/	-0,589^{***}	-0,481^{**}	-0,322	-0,338	0,280	0,051	0,085	-0,179	0,251

Stepen statističke značajnosti: *p<0,05; **p<0,01; ***p<0,001; Vrednosti statistički značajnih korelacija su u bold formatu

Tabela 124. Korelacije između sadržaja hemijskih elemenata u korenu i listovima vrste *J. regia*

	Al	As	B	Cd	Cr	Cu	Fe	Li	Mn	Ni	Pb	Se	Sr	Zn
List	Koren <i>J. regia</i>													
<i>J. regia</i>	0,439^{**}	-0,154	0,600^{***}	/	0,101	0,198	0,357[*]	0,223	-0,295	0,608^{***}	0,403^{**}	-0,012	0,460^{**}	0,742^{***}

Stepen statističke značajnosti: *p<0,05; **p<0,01; ***p<0,001; Vrednosti statistički značajnih korelacija su u bold formatu

Biokonzentracioni faktor vrste *J. regia* >1 je utvrđen za As u Jasenovcu (sve dubine zemljišta), za Cd u Sremskoj Mitrovici (na dubinama 0-10 cm i 30-60 cm), kao i za Sr u Litiji (na dubinama 0-10 cm i 30-60 cm) (Tabela 125).

Tabela 125. Biokonzentracioni faktor (BCF) za vrstu *J. regia*

Lokalitet	Dubina (cm)	Al	As	B	Cd	Cr	Cu	Fe	Li	Mn	Ni	Pb	Sr	Zn
MOJ	0-10	0,07	0,81	0,36	/	0,39	0,32	0,08	/	0,08	0,03	0,10	0,28	0,25
	0-10	0,03	0,46	0,44	/	0,23	0,39	0,03	/	0,07	0,06	0,06	0,28	0,43
	0-30	0,05	0,68	0,56	/	0,31	0,51	0,05	/	0,09	0,07	0,07	0,49	0,42
RAD	30-60	0,05	0,42	0,46	/	0,35	0,44	0,04	/	0,09	0,09	0,03	0,26	0,13
	0-10	0,02	0,51	0,35	/	0,31	0,63	0,03	/	0,16	0,06	0,05	1,03	0,58
	0-30	0,03	0,46	0,36	/	0,28	0,48	0,04	/	0,22	0,06	0,11	0,73	0,49
LIT	30-60	0,03	0,46	0,37	/	0,31	0,54	0,04	/	0,26	0,07	0,05	1,07	0,50
	0-10	0,02	0,44	0,25	/	0,19	0,10	0,02	/	0,10	/	0,07	0,19	0,02
	0-30	0,03	0,24	0,28	/	0,18	0,09	0,03	/	0,11	/	0,12	0,19	0,02
VRH	0-10	0,05	0,45	0,30	/	0,77	0,02	0,05	0,25	0,12	0,19	0,18	0,39	0,19
	0-30	0,07	0,40	0,30	/	0,68	0,05	0,09	0,22	0,11	0,17	0,17	0,38	0,19
	30-60	0,06	0,38	0,25	/	0,46	0,16	0,07	0,18	0,09	0,14	0,14	0,38	0,13
ČAT	0-10	0,04	1,12	0,48	/	0,52	0,29	0,07	0,26	0,15	0,16	0,23	0,35	0,16
	0-30	0,05	1,04	0,51	/	0,52	0,29	0,11	0,25	0,15	0,17	0,15	0,32	0,15
	30-60	0,07	1,46	0,65	/	0,68	0,42	0,14	0,31	0,18	0,22	0,26	0,32	0,18
JAS	0-10	0,10	0,12	0,23	3,75	0,12	0,31	0,07	0,18	0,06	0,09	0,12	0,48	0,39
	0-30	0,09	0,10	0,25	/	0,10	0,26	0,06	0,15	0,07	0,08	0,09	0,24	0,31
	30-60	0,09	0,08	0,22	1,62	0,08	0,19	0,06	0,14	0,06	0,08	0,04	0,22	0,13
SRM	0-10	0,10	0,12	0,23	3,75	0,12	0,31	0,07	0,18	0,06	0,09	0,12	0,48	0,39
	0-30	0,09	0,10	0,25	/	0,10	0,26	0,06	0,15	0,07	0,08	0,09	0,24	0,31
	30-60	0,09	0,08	0,22	1,62	0,08	0,19	0,06	0,14	0,06	0,08	0,04	0,22	0,13

Vrednosti BCF>1 su u bold formatu

Translokacioni faktor kod vrste *J. regia* >1 je utvrđen za As na lokalitetima Litija, Vrhovo, Čatež i Sremska Mitrovica, zatim za B na svim ispitivanim lokalitetima, za Cu u Mojstrani, Radovljici, Vrhovu i Jasenovcu, za Li u Jasenovcu, za Mn u Mojstrani, Litiji, Vrhovu i Sremskoj Mitrovici, za Se u Čatežu, Jasenovcu i Sremskoj Mitrovici, za Sr u Mojstrani, Vrhovu, Čatežu i Sremskoj Mitrovici, kao i za Zn u Vrhovu i Jasenovcu. Na svim ispitivanim lokalitetima, TF vrste *J. regia* za Al, Cr, Fe, Ni i Pb su bili <1 (Tabela 126). Translokacioni faktor za ovu vrstu nije izračunat za Cd, s obzirom da je ovaj element bio ispod nivoa detekcije aparata u korenu i/ili listovima.

Tabela 126. Translokacioni faktor (TF) za vrstu *J. regia*

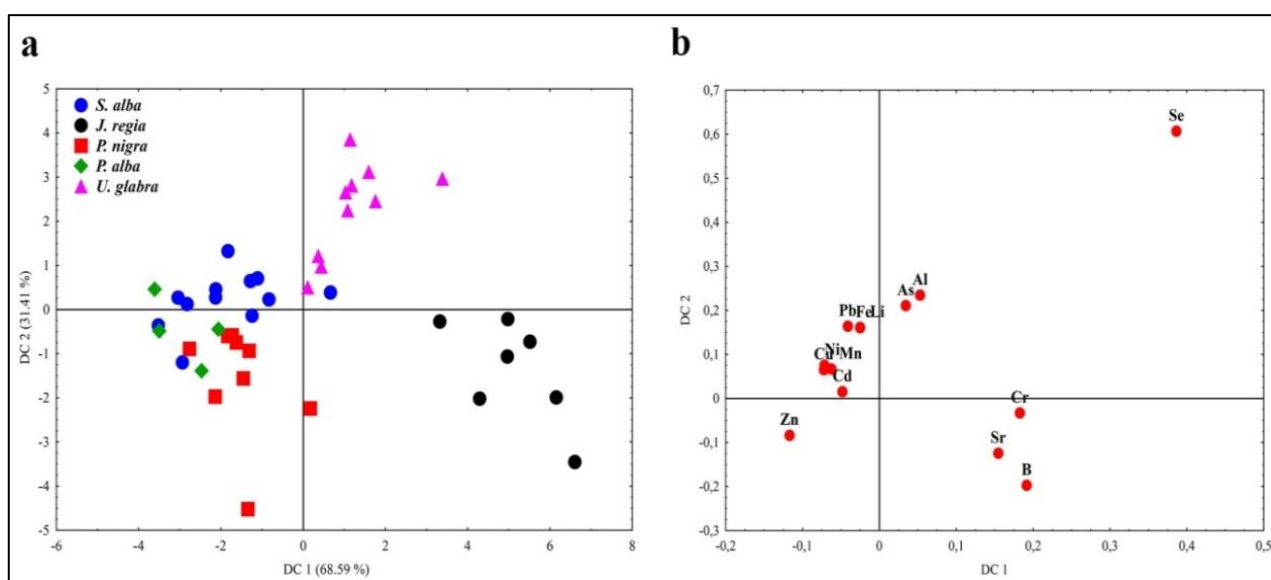
Lokalitet	Al	As	B	Cd	Cr	Cu	Fe	Li	Mn	Ni	Pb	Se	Sr	Zn
MOJ	0,22	0,46	4,23	/	0,23	1,37	0,19	/	5,02	/	0,22	0,72	3,03	0,75
RAD	0,26	0,81	1,58	/	0,32	1,17	0,27	/	0,42	0,39	0,69	0,79	0,85	0,90
LIT	0,28	2,12	4,26	/	0,20	0,65	0,29	/	1,23	0,57	/	0,95	0,85	0,92
VRH	0,29	2,92	2,76	/	0,22	2,26	0,41	/	1,40	/	/	0,79	1,27	1,00
ČAT	0,05	1,69	3,54	/	0,03	0,48	0,05	/	0,32	/	/	2,48	1,39	0,44
JAS	0,91	0,31	3,00	/	0,38	1,35	0,54	1,15	0,65	0,42	0,50	1,12	0,92	1,01
SRM	0,08	1,30	4,03	/	0,14	0,43	0,10	/	1,10	0,20	0,31	1,74	1,54	0,28

Vrednosti TF>1 su u bold formatu

4.6. Sličnosti i razlike između proučavanih vrsta biljaka u odnosu na sadržaj PTE u korenu i listovima i u njihovoj potencijalnoj primeni u bioindikaciji PTE u obalnoj zoni reke Save

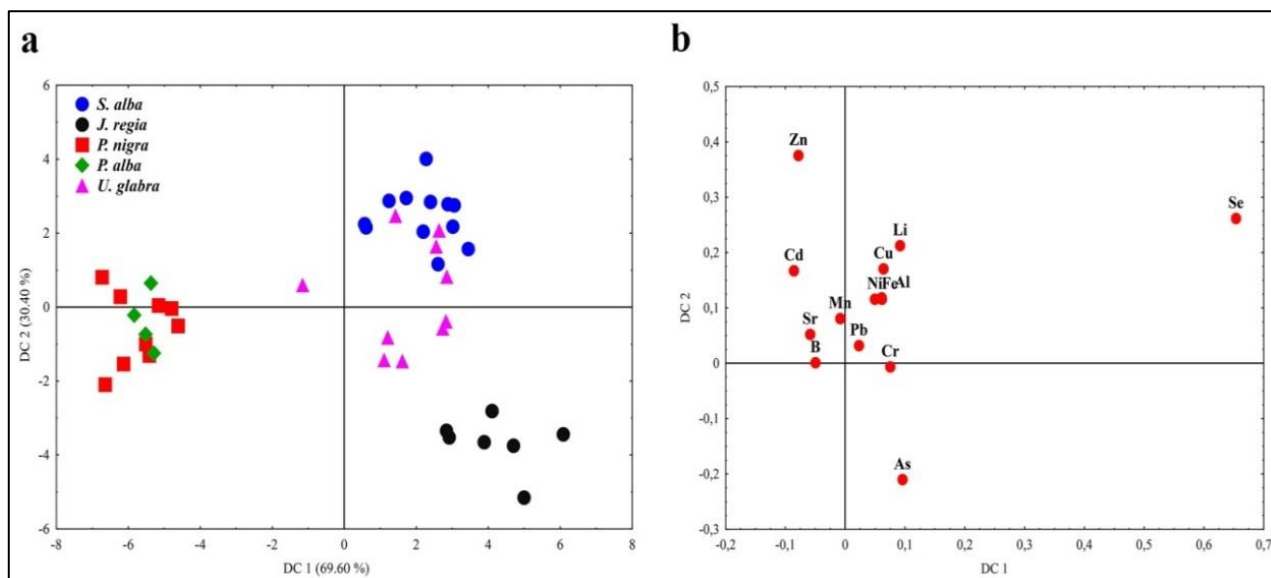
Za utvrđivanje razlika između vrsta na osnovu sadržaja hemijskih elemenata (Al, As, B, Cd, Cr, Cu, Fe, Li, Mn, Ni, Pb, Se, Sr, Zn) u njihovim korenovima i listovima, primenjena je kanonijska diskriminantna analiza (CDA), čiji su rezultati predstavljeni na Slikama 40 i 41.

Ispitivane drvenaste vrste su jasno razdvojene na osnovu prve diskriminantne ose (DC1) koja objašnjava 68,59% varijabilnosti i određena je u najvećoj meri sadržajem Se, Cr, B i Zn, dok druga komponenta (DC 2) objašnjava 31,41% varijabilnosti i određena je sadržajem Se, Al, B i Sr u korenu ispitivanih vrsta. Rezultat ove analize je odvajanje vrste *J. regia* po akumulaciji B, Cr i Sr, zatim *U. glabra* po akumulaciji Se, Al i As, *P. nigra* po akumulaciji Zn, dok se vrste *S. alba* i *P. alba* odvajaju po akumulaciji Pb, Fe, Li, Cu, Ni, Mn i Cd u korenu (Slika 40).



Slika 40. Razlike između analiziranih vrsta po sadržaju hemijskih elemenata u korenu; a) razdvajanje vrsta na osnovu sadržaja hemijskih elemenata; b) uticaj ispitivanih elemenata na razlike između vrsta.

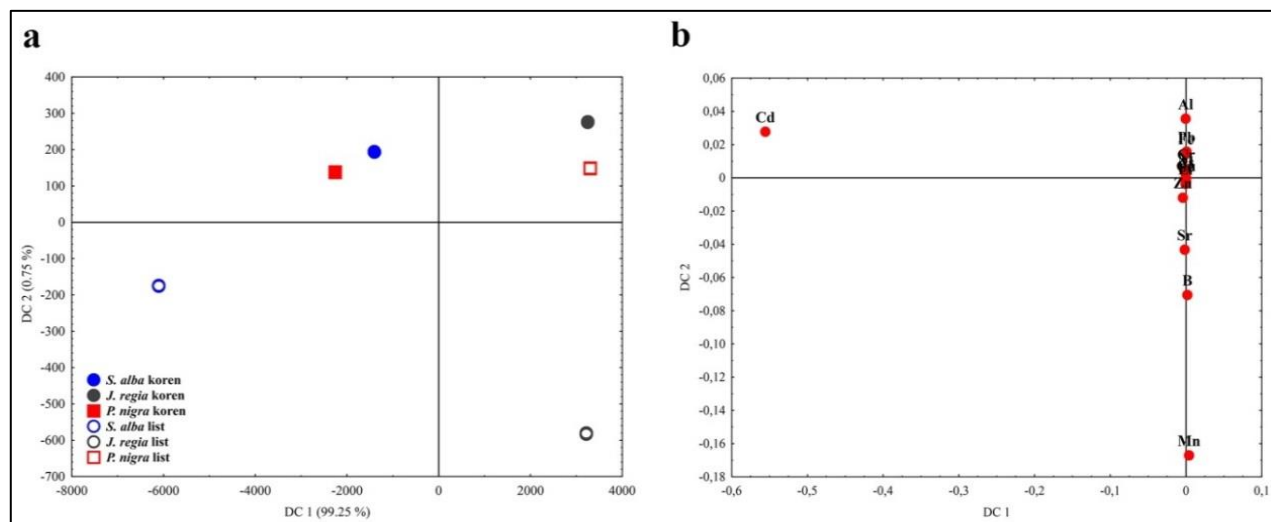
Ispitivane vrste se takođe odvajaju i u odnosu na izmerene sadržaje hemijskih elemenata u listovima. Prva diskriminantna osa (DC 1) objašnjava 69,60% varijabilnosti i određena je sadržajem Se i Cd, dok druga diskriminantna osa (DC 2) objašnjava 30,40% i određena je sadržajem Zn i As. Kao rezultat, odvajaju se vrste *J. regia* po akumulaciji As u listovima, *P. nigra* i *P. alba* po akumulaciji Cd, Sr i B, *S. alba* po akumulaciji Se, Li, Cu, Ni i Fe, kao i *U. glabra* po akumulaciji Pb, Cr, As, Ni, Fe i Al u listovima (Slika 41).



Slika 41. Razlike između analiziranih vrsta po sadržaju hemijskih elemenata u listovima; a) razdvajanje vrsta na osnovu sadržaja hemijskih elemenata; b) uticaj ispitivanih elemenata na razlike između vrsta.

Diskriminantna analiza je primenjena i za definisanje razlika između ispitivanih vrsta na svakom od lokaliteta.

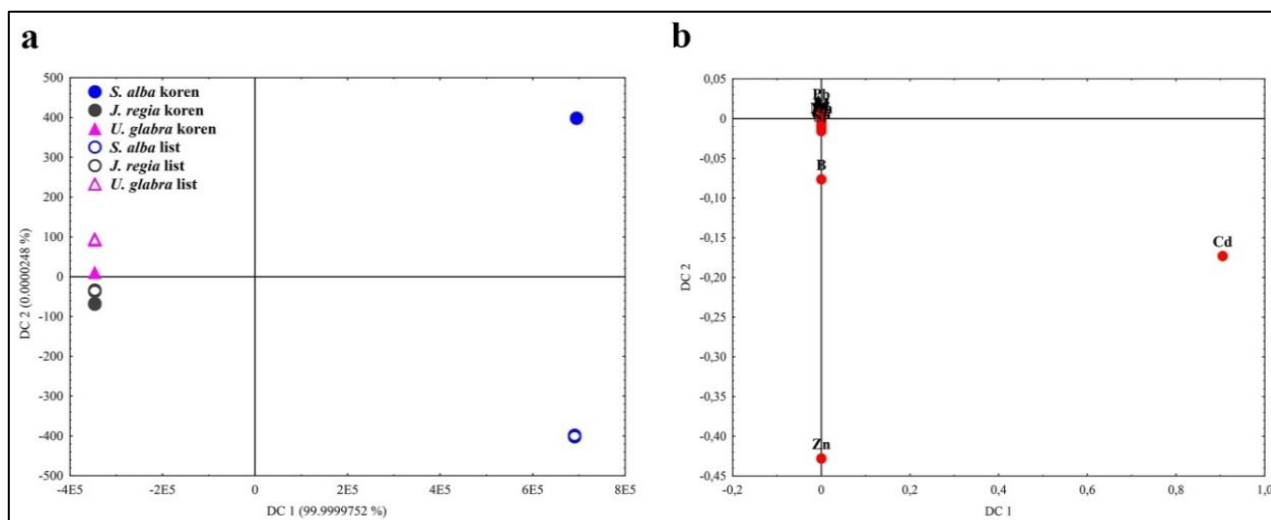
Na osnovu sadržaja hemijskih elemenata u korenu i u listovima, vrste uzorkovane na lokalitetu Mojstrana (*S. alba*, *P. nigra* i *J. regia*) su jasno odvojene diskriminantnom analizom. Prva diskriminantna osa (DC 1) objašnjava čak 99,25% varijabilnosti i određena je sadržajem Cd, dok druga diskriminantna osa (DC 2) objašnjava samo 0,75% varijabilnosti, i određuju je sadržaji Mn i Al u biljkama. Dominantna DC 1 osa jasno odvaja *S. alba* po akumulaciji Cd u korenu i listovima, kao i *P. nigra* po akumulaciji Cd u korenu. U odnosu na DC 2 osu, jasno se odvaja *J. regia* po akumulaciji B i Mn u listovima (Slika 42).



Slika 42. Razlike između vrsta uzorkovanih na lokalitetu Mojstrana: a) razdvajanje vrsta na osnovu sadržaja hemijskih elemenata u korenu i listovima; b) uticaj ispitivanih elemenata na razlike između vrsta.

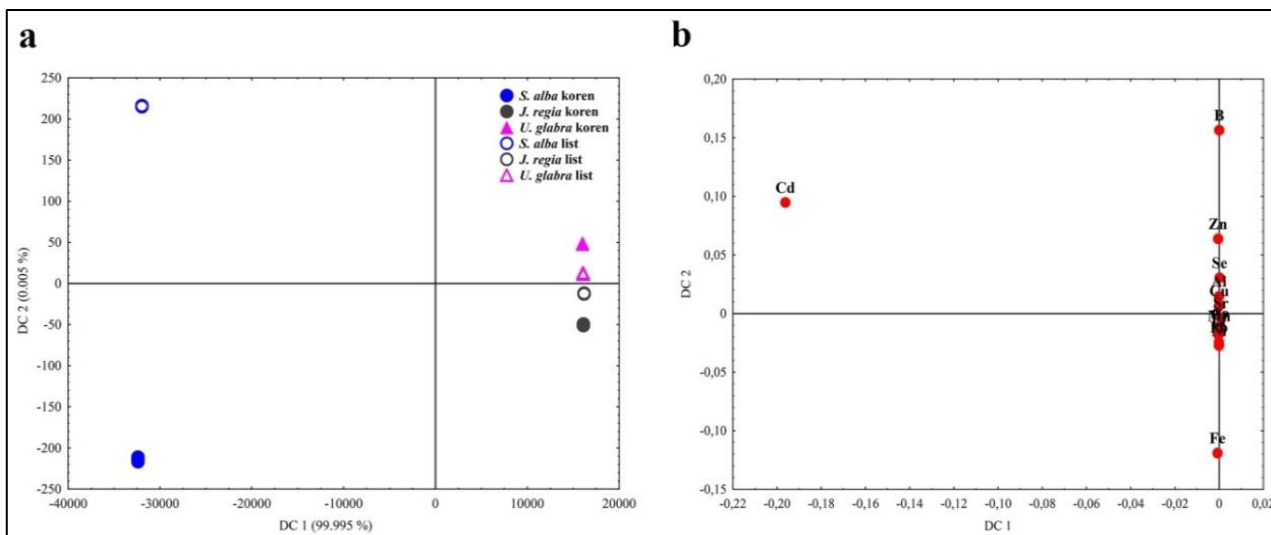
Vrste *S. alba*, *J. regia* i *U. glabra*, uzorkovane na lokalitetu Radovljica su takođe jasno odvojene na osnovu sadržaja hemijskih elemenata u korenu i u listovima. Prva diskriminantna osa (DC 1) objašnjava čak 99,99% varijabilnosti i određena je sadržajem Cd. Sadržaji Zn i Cd utiču na varijabilnost u odnosu na drugu diskriminantnu osu (DC 2), međutim ova osa objašnjava svega

0,00002% varijabilnosti. Rezultati analize pokazuju da se vrsta *S. alba* u potpunosti odvaja po akumulaciji Cd odnosu na druge dve vrste sa istog lokaliteta (Slika 43).



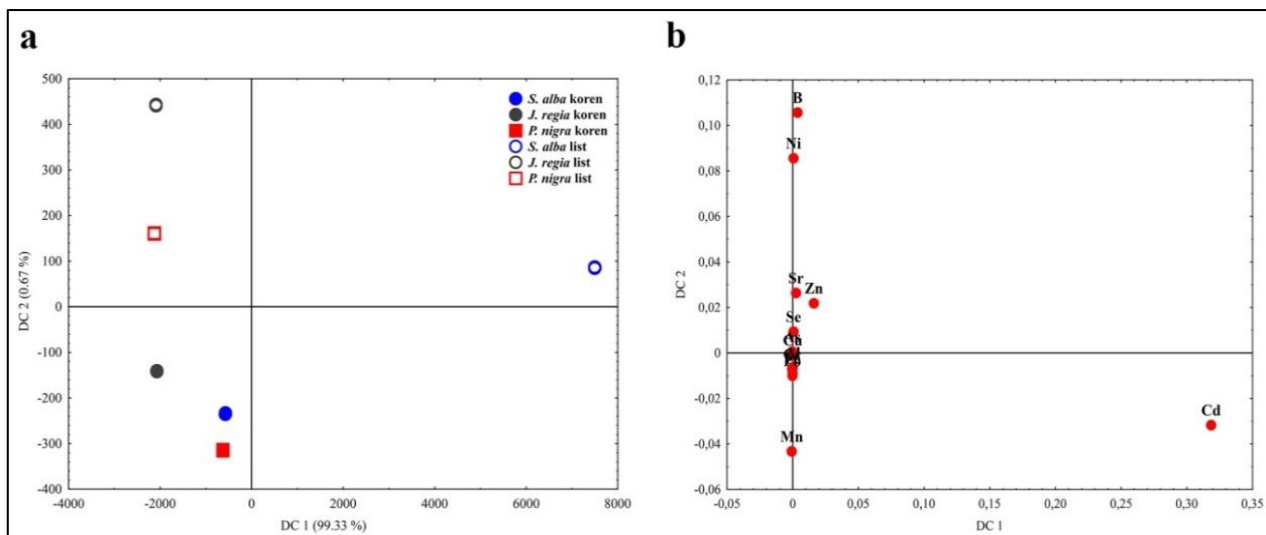
Slika 43. Razlike između vrsta uzorkovanih na lokalitetu Radovljica: a) razdvajanje vrsta na osnovu sadržaja hemijskih elemenata u korenu i listovima; b) uticaj ispitivanih elemenata na razlike između vrsta.

Na lokalitetu Litija, vrste *S. alba*, *J. regia* i *U. glabra* su jasno odvojene kanonijskom diskriminantnom analizom (Slika 44). Prva diskriminantna osa (DC 1) objašnjava 99,995% varijabilnosti i određena je sadržajem Cd, dok druga diskriminantna osa (DC 2) objašnjava svega 0,005% varijabilnosti i određena je sadržajem B i Fe. Dominantna DC 1 osa odvaja *S. alba* po akumulaciji Cd u korenu i listovima.



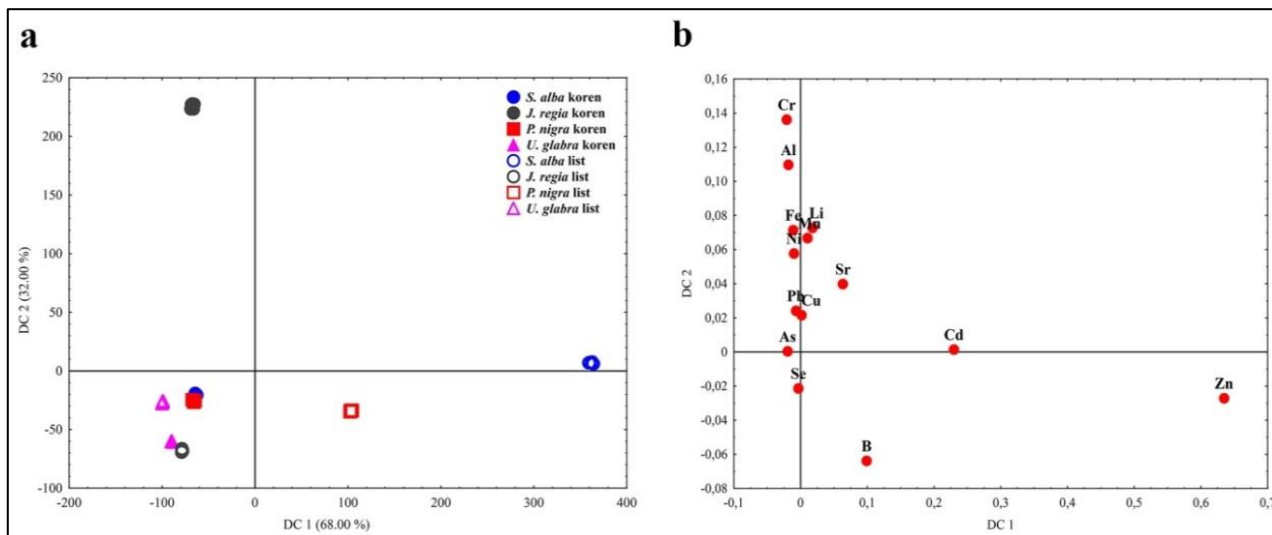
Slika 44. Razlike između vrsta uzorkovanih na lokalitetu Litija: a) razdvajanje vrsta na osnovu sadržaja hemijskih elemenata u korenu i listovima; b) uticaj ispitivanih elemenata na razlike između vrsta.

Na osnovu sadržaja hemijskih elemenata u korenu i listovima, vrste uzorkovane na lokalitetu Vrhovo (*S. alba*, *P. nigra* i *J. regia*) su jasno odvojene diskriminantnom analizom (Slika 45). Prva diskriminantna osa (DC 1) objašnjava 99,33% varijabilnosti i određena je sadržajem Cd, dok druga diskriminantna osa (DC 2) objašnjava 0,67% varijabilnosti i određena je sadržajem B, Ni i Mn. Kao rezultat, odvaja se *S. alba* po sadržaju Cd i Zn, dok se vrste *P. nigra* i *J. regia* odvajaju po akumulaciji B i Ni u listovima (Slika 45).



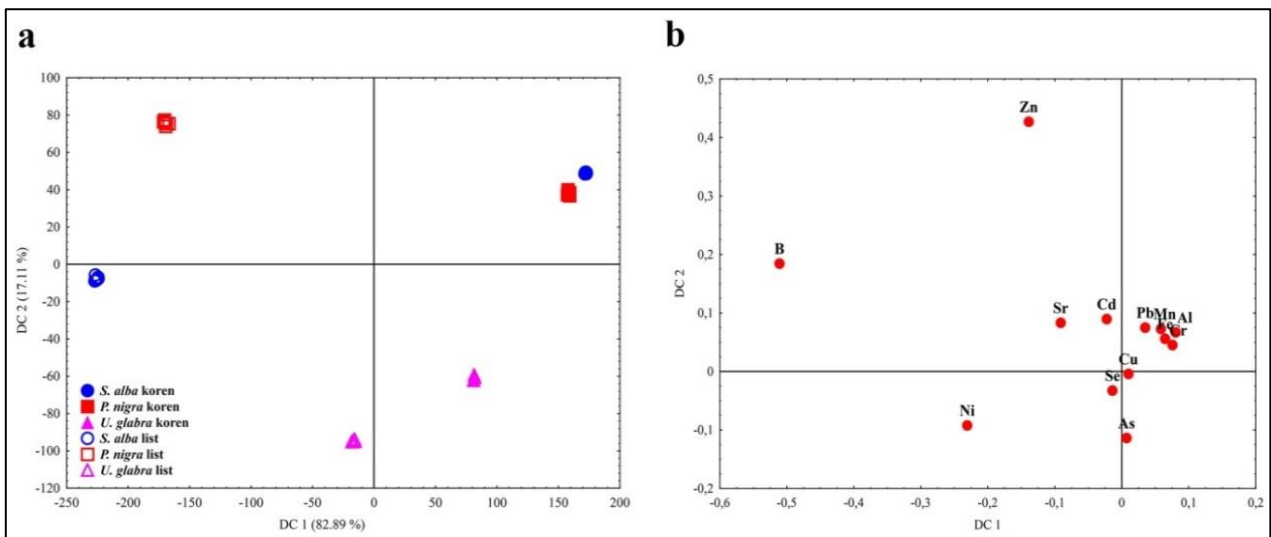
Slika 45. Razlike između vrsta uzorkovanih na lokalitetu Vrhov: a) razdvajanje vrsta na osnovu sadržaja hemijskih elemenata u korenu i listovima; b) uticaj ispitivanih elemenata na razlike između vrsta.

Na lokalitetu Čatež su uzorkovane vrste *S. alba*, *P. nigra*, *J. regia* i *U. glabra* (Slika 46). Prva diskriminantna osa (DC 1) objašnjava 68,0% varijabilnosti i određena je sadržajima Cd i Zn, dok sadržaji Cr, Al i B utiču na drugu diskriminantnu osu (DC 2) koja objašnjava 32,0% varijabilnosti. Prva diskriminanta osa (DC 1) odvaja *S. alba* i *P. nigra* po sadržaju Zn i Cd u listovima, dok se *U. glabra* i *J. regia* odvajaju po akumulaciji Se. Sa druge strane, vrste *S. alba*, *P. nigra* i *U. glabra* se izdvajaju po akumulaciji Se, a *J. regia* po akumulaciji Cr u korenu (Slika 46).



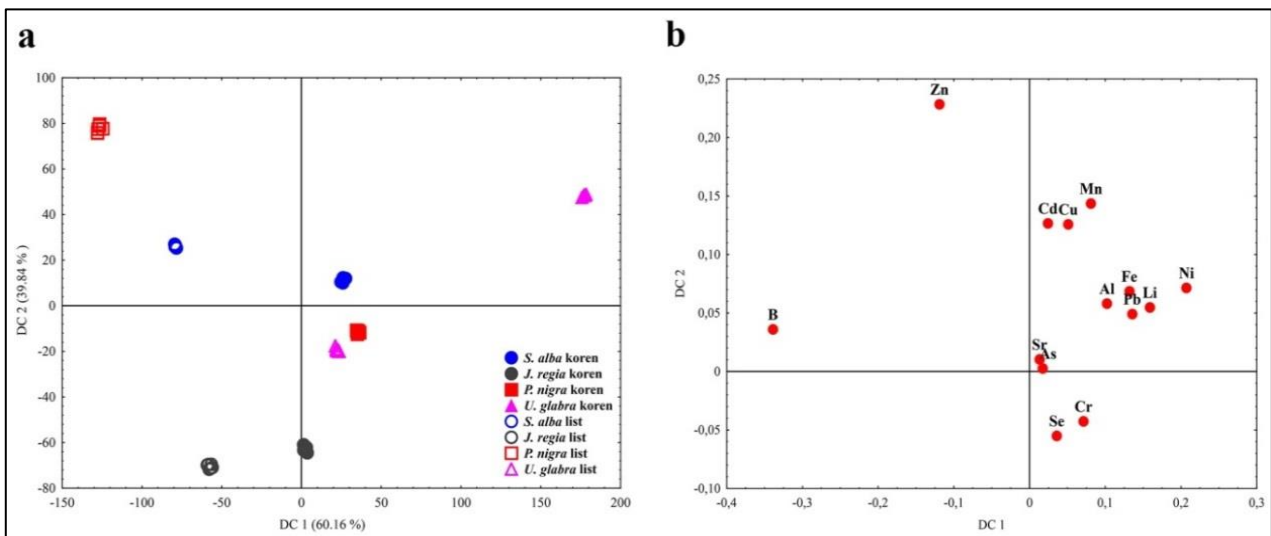
Slika 46. Razlike između vrsta uzorkovanih na lokalitetu Čatež: a) razdvajanje vrsta na osnovu sadržaja hemijskih elemenata u korenu i listovima; b) uticaj ispitivanih elemenata na razlike između vrsta.

Na lokalitetu Zagreb su uzorkovane vrste *S. alba*, *P. nigra* i *U. glabra*. Prva diskriminantna osa (DC 1) objašnjava 82,89% varijabilnosti i određena je sadržajem B, Ni i Zn, dok druga diskriminantna osa (DC 2) objašnjava 17,11% varijabilnosti, i određena je sadržajem Zn i As. Kao rezultat, vrste *S. alba* i *P. nigra* se odvajaju po akumulaciji Al, Fe, Mn, Cr i Pb u korenu, dok se *U. glabra* odvaja po akumulaciji As u korenu i listovima. Vrsta *S. alba* se dodatno odvaja i po akumulaciji B u korenu, a *P. nigra* po akumulaciji Zn i Cd u listovima (Slika 47).



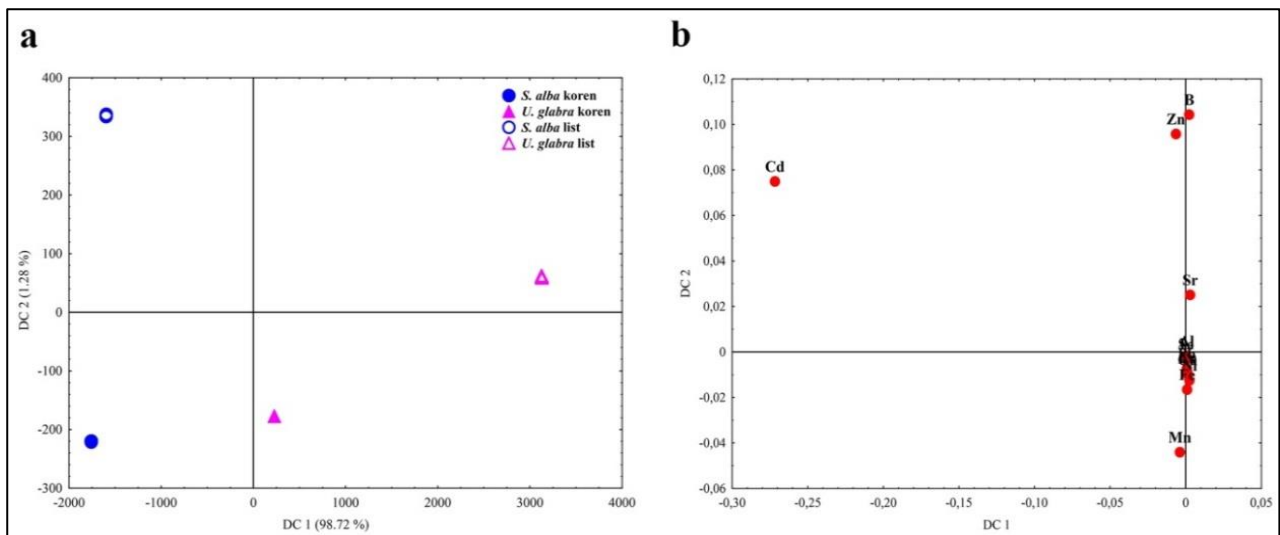
Slika 47. Razlike između vrsta uzorkovanih na lokalitetu Zagreb: a) razdvajanje vrsta na osnovu sadržaja hemijskih elemenata u korenu i listovima; b) uticaj ispitivanih elemenata na razlike između vrsta.

Na lokalitetu Jasenovac su uzorkovane vrste *S. alba*, *P. nigra*, *J. regia* i *U. glabra*. Prva diskriminantna osa (DC 1) objašnjava 60,16% varijabilnosti i određena je sadržajima Ni i B. Druga osa (DC 2) objašnjava 39,84% varijabilnosti i određena je sadržajima Zn, Mn, Cu i Cd. Kao rezultat, vrste se odvajaju po akumulaciji elemenata u listovima, i to: *S. alba* i *P. nigra* po akumulaciji B i Zn, *J. regia* po akumulaciji Sr, i *U. glabra* po akumulaciji Ni, Li, Fe, Mn, Pb i Al. Takođe, *U. glabra* i *J. regia* se odvajaju i po akumulaciji Cr u korenovima (Slika 48).



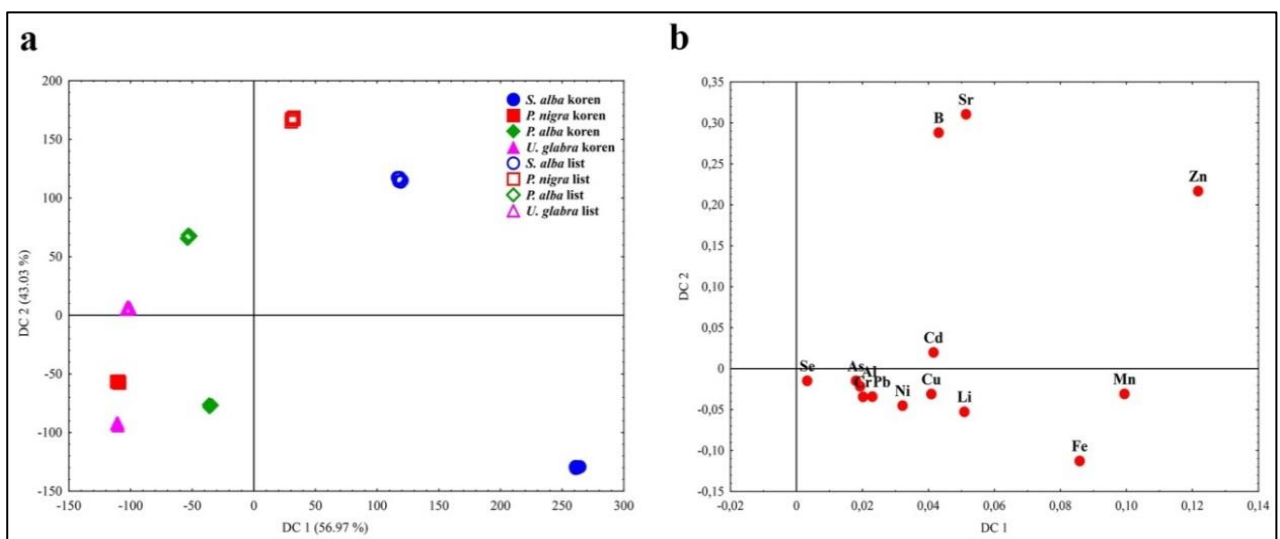
Slika 48. Razlike između vrsta uzorkovanih na lokalitetu Jasenovac: a) razdvajanje vrsta na osnovu sadržaja hemijskih elemenata u korenu i listovima; b) uticaj ispitivanih elemenata na razlike između vrsta.

Na lokalitetu Slavonski Brod su uzorkovane vrste *S. alba* i *U. glabra*. Prva diskriminantna osa (DC 1) objašnjava čak 98,72% varijabilnosti i određena je sadržajem Cd, dok druga diskriminantna osa (DC 2) objašnjava svega 1,28% varijabilnosti, i određuju je sadržaji B, Zn i Mn. Kao rezultat, odvajaju se *S. alba* po akumulaciji Cd u korenu i listovima (Slika 49).



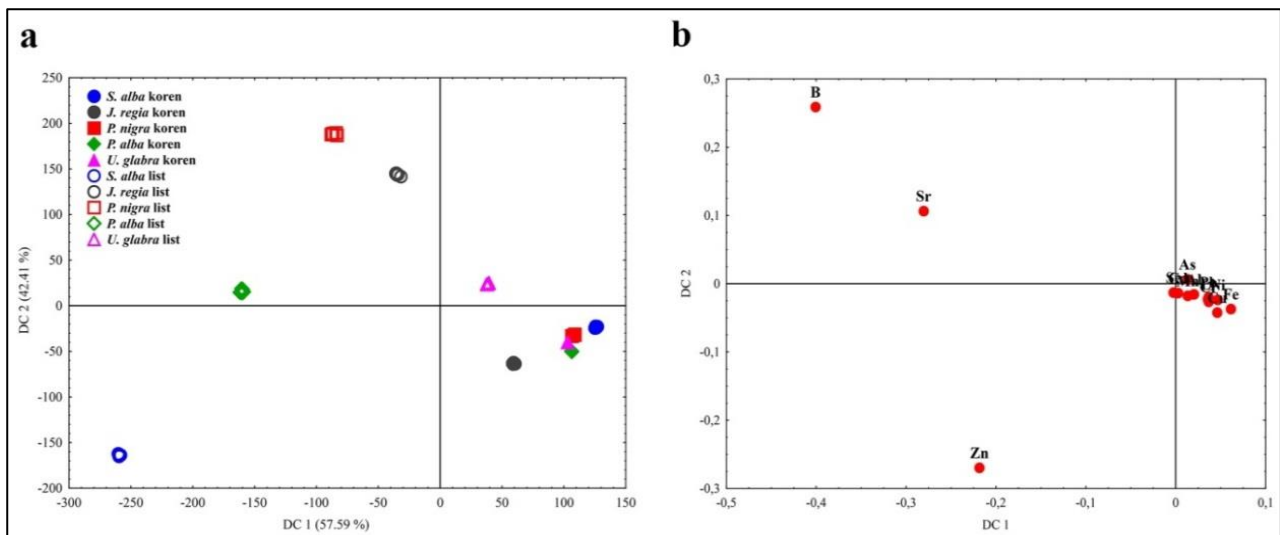
Slika 49. Razlike između vrsta uzorkovanih na lokalitetu Slavonski Brod: a) razdvajanje vrsta na osnovu sadržaja hemijskih elemenata u korenu i listovima; b) uticaj ispitivanih elemenata na razlike između vrsta.

Na osnovu izmerenih sadržaja PTE, koren i listovi *S. alba*, *P. nigra*, *P. alba* i *U. glabra* uzorkovani sa lokaliteta Županja, jasno su odvojeni kanonijskom diskriminantnom analizom (Slika 50). Prva diskriminantna osa (DC 1) objašnjava 56,97% varijabilnosti i određena je sadržajem Zn, dok sadržaji Sr, B i Zn određuju drugu diskriminantnu osu (DC 2), koja objašnjava 43,03% varijabilnosti. Listovi *S. alba* i *P. nigra* se odvajaju po akumulaciji Zn i B, dok se koren *S. alba* odvaja po akumulaciji Fe i Mn (Slika 50).



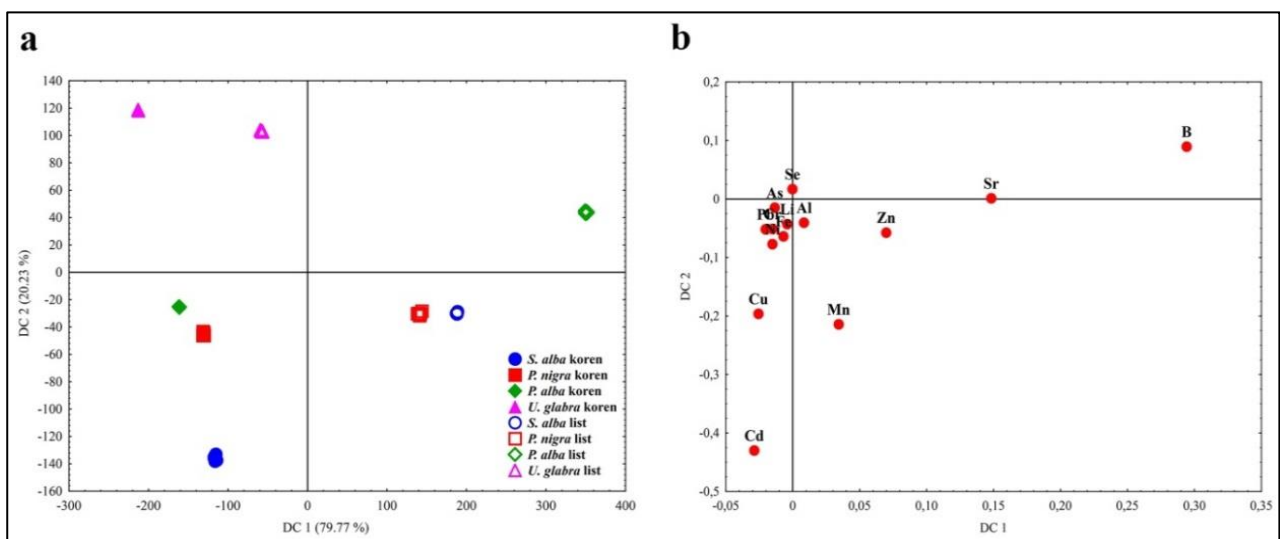
Slika 50. Razlike između vrsta uzorkovanih na lokalitetu Županja: a) razdvajanje vrsta na osnovu sadržaja hemijskih elemenata u korenu i listovima; b) uticaj ispitivanih elemenata na razlike između vrsta.

Na lokalitetu Sremska Mitrovica su uzorkovane sve ispitivane vrste. Prvu diskriminantnu osu (DC 1) koja objašnjava 57,59% varijabilnosti, i drugu diskriminantnu osu (DC 2) koja objašnjava 42,41% varijabilnosti, određuju sadržaji B, Sr i Zn. Kao rezultat, vrste *S. alba*, *P. nigra*, *P. alba* i *J. regia* se odvajaju po akumulaciji ovih elemenata u listovima (Slika 51).



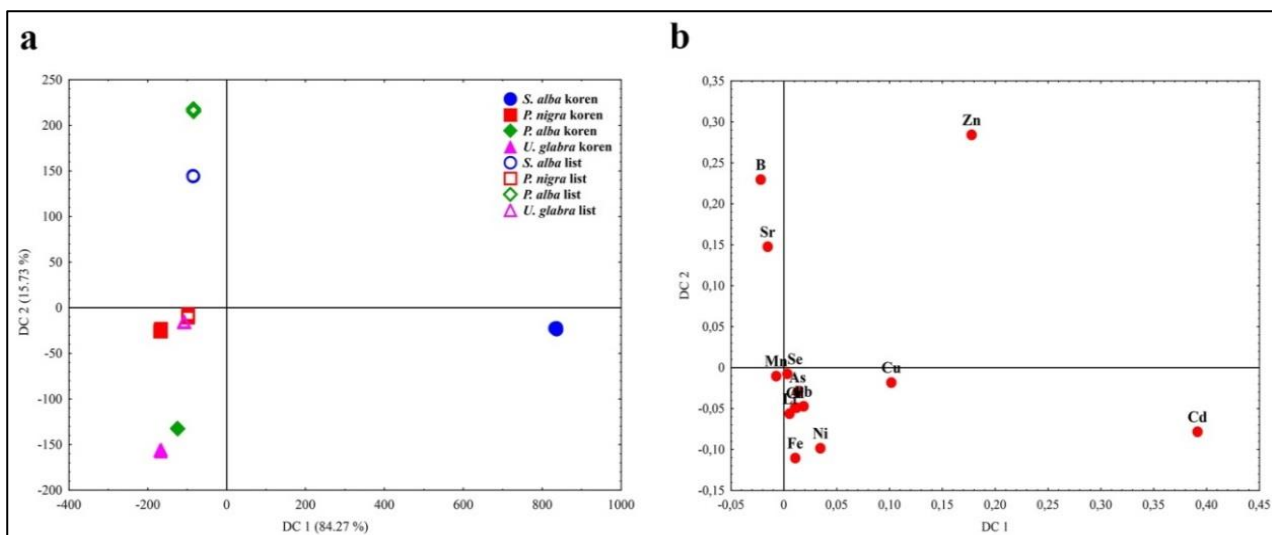
Slika 51. Razlike između vrsta uzorkovanih na lokalitetu Sremska Mitrovica: a) razdvajanje vrsta na osnovu sadržaja hemijskih elemenata u korenu i listovima; b) uticaj ispitivanih elemenata na razlike između vrsta.

Na lokalitetu Šabac uzorkovane su vrste *S. alba*, *P. nigra*, *P. alba* i *U. glabra*. Prva diskriminantna osa (DC 1) objašnjava 79,77% varijabilnosti i određena je sadržajem B i Sr, dok je druga diskriminantna osa (DC 2), koja objašnjava 20,23% varijabilnosti, određena sadržajem Cd, Mn i Cu. Na ovom lokalitetu, vrste se odvajaju po akumulaciji hemijskih elemenata u listovima, i to: *P. alba* po akumulaciji B, *S. alba* i *P. nigra* po akumulaciji Zn i Mn. Vrste *S. alba*, *P. nigra* i *P. alba* su takođe odvojene i po akumulaciji Cd i Cu u korenovima (Slika 52).



Slika 52. Razlike između vrsta uzorkovanih na lokalitetu Šabac: a) razdvajanje vrsta na osnovu sadržaja hemijskih elemenata u korenu i listovima; b) uticaj ispitivanih elemenata na razlike između vrsta.

Na lokalitetu Beograd su uzorkovane vrste *S. alba*, *P. nigra*, *P. alba* i *U. glabra* (Slika 53). Prva diskriminantna osa (DC 1) objašnjava 84,27% varijabilnosti i određena je sadržajem Cd i Zn. Druga diskriminantna osa (DC 2) objašnjava 15,73% varijabilnosti i određena je sadržajem Zn, B, Sr i Fe. Kao rezultat, vrste *P. alba* i *S. alba* se odvajaju po akumulaciji B i Sr u listovima, dok se *S. alba* odvaja i po akumulaciji Cd u korenu (Slika 53).



Slika 53. Razlike između vrsta uzorkovanih na lokalitetu Beograd: a) razdvajanje vrsta na osnovu sadržaja hemijskih elemenata u korenu i listovima; b) uticaj ispitivanih elemenata na razlike između vrsta.

5. DISKUSIJA

5.1. Kvalitativna i kvantitativna zastupljenost biljnih vrsta i ekološki uslovi na staništima istraživanih lokaliteta u obalnoj zoni reke Save

Ekosistemi u obalnim područjima reka predstavljaju prelaznu zonu između kopnenih i vodenih staništa i biodiverzitetom su najbogatiji ekosistemi na Zemlji (Naiman & Decamps 1997; Dufour et al. 2019). Ovi jedinstveni prirodni sistemi su izloženi različitim antropogenim pritiscima, poput zagađenja organskim i neorganskim polutantima, izgradnje vodozahvata i hidroenergetskih objekata, degradacije zemljišta, kao i unosom invazivnih vrsta (Radulović et al. 2010; Navarro-Ortega et al. 2015). Širenje naselja i industrijalizacija, izgradnja infrastrukture i eksploatacija prirodnih resursa su uzroci nestanka prirodnih riparijalnih ekosistema u nekim delovima sveta, koji se sve više pretvaraju u urbane i poljoprivredne površine (Rüther & Walentowski 2008). Evropske reke su pod antropogenim uticajem vekovima menjane, pregrađivane, zagađivane i prekomerno eksploatisane, što je imalo uticaja na celokupan živi svet koji čini njihove vodene i riparijalne ekosisteme (Tockner et al. 2010; Ricaurte et al. 2012).

Osim što predstavljaju staništa za veliki broj vrsta, šume u obalnim zonama reka imaju funkciju i u regulisanju mikroklimе, kvaliteta vode, u sprečavanju erozije i dr. (Sunil et al. 2010; Swanson et al. 2017). Riparijalne šume na svetskom nivou, pokrivaju površinu od $2,24 \times 10^6$ km² (Tockner & Stanford 2002; Rüther & Walentowski 2008), koja se poslednjih decenija rapidno smanjuje, posebno u umerenoj zoni Evrope gde je antropogeni uticaj prisutan kroz istoriju. Prirodne, očuvane riparijalne šume se nalaze uglavnom još u istočnoj i jugoistočnoj Evropi (Hughes & Richards 2003; Schneider-Jacoby 2006; Mikac et al. 2018). Šume u obalnoj zoni reke Dunav su prema Direktivi o staništima proglašene za ugrožena staništa na teritoriji Evrope (Council Directive 92/43/EEC). Stoga je neophodno posvetiti pažnju ovim ekosistemima, sprečiti njihovu degradaciju i pospešiti obnovu na prostorima u obalnoj zoni reka koje pripadaju slivu Dunava, među kojima je i reka Sava (Verhoeven et al. 2006; Sunil et al. 2010).

Analiza flore na istraživanim lokalitetima u obalnoj zoni reke Save, pokazala je visoku zastupljenost vrsta iz familije *Compositae* (40 vrsta), što je u skladu sa njihovom zastupljenošću na globalnom nivou, ali i dominantnim učešćem u flori Balkanskog poluostrva (Funk et al. 2009). Takođe, značajnim diverzitetom vrsta se odlikuju i familije *Poaceae* (19 vrsta) i *Leguminosae* (16 vrsta) (Prilog 1, Slika 19), što je u skladu sa njihovom zastupljenošću u flori Balkanskog poluostrva (Turrill 1929).

Kada su u pitanju drvenaste vrste biljaka, u riparijalnim zonama velikih reka umerene zone severne hemisfere, uključujući i velike evropske reke dominiraju vrste rodova *Salix*, *Populus* i *Alnus* (Malanson 1993; Karrenberg et al. 2003; Stella et al. 2013). Vrste rodova *Salix* i *Populus* su dominantne u riparijalnim šumama reka: Po u Italiji (*Salix alba*, *Populus nigra*; Gumiero et al. 2009), Rajne u Švajcarskoj, Nemačkoj i Holandiji (*Salix spp*, *Populus nigra*, *P. alba*; Uehlinger et al. 2009), Rone u Švajcarskoj i Francuskoj (*Salix daphnoides*, *S. purpurea*, *S. eleagnos*, *S. viminalis*, *S. alba*, *Populus nigra*; Olivier et al. 2009), Visle u Poljskoj (*Populus alba*, *P. nigra*, *Salix alba*, *S. fragilis*, *S. triandra*, *S. viminalis*; Timm et al. 2009), kao i reke Volge u Rusiji (*Salix acutifolia*, *S. triandra*, *S. viminalis*, *S. alba*, *Populus nigra*; Litvinov et al. 2009). Vrste rodova *Salix* i *Populus*, kao i vrste *Fraxinus angustifolia* i *Alnus glutinosa* su karakteristične za riparijalne šume u Mediteranu, kako u Grčkoj (Zaimes et al. 2010; Kladis et al. 2011), tako i u Španiji i Portugaliji (Fernández-Aláez et al. 2005). Riparijalne šume duž velikih reka na Balkanskom polustrvu uglavnom grade vrste rodova *Salix*, *Populus*, *Ulmus* i *Fraxinus*, pri čemu su kompleksi ovih šuma posebno karakteristični za delte reka (Skoulidikis et al. 2009). Prema istraživanjima Skoulidikis et al. (2009) u riparijalnim šumama severnog dela Balkana, često se pojavljuju alohtone vrste *Robinia pseudoacacia* i *Amorpha fruticosa*.

Florističko-fitocenološka istraživanja riparijalnih šuma na istraživanim lokalitetima u obalnoj zoni reke Save, pokazala su dominaciju vrsta *Salix* i *Populus*, uz koje su veoma česte vrste roda *Ulmus*, dok se vrste rodova *Alnus* i *Fraxinus* uglavnom javljaju u gornjem delu rečnog toka (Prilog 1). Istraživanjima je takođe ustanovljeno i prisustvo visoko invazivnih vrsta *R. pseudoacacia* i *Amorpha fruticosa* na većem broju analiziranih lokaliteta (Tabela 1; Prilog 1).

Iako su određeni rodovi i vrste karakteristični za riparijalne šume širom Evrope, u njihovom florističkom sastavu postoje izvesne razlike. Naime, ranijim istraživanjima riparijalne vegetacije duž tri manje pritoke Dunava (Trniansky, Stoličný i Gidra na Malim Karpatima u Slovačkoj), utvrđeno je da su dominantne vrste *Alnus glutinosa* i *Fraxinus excelsior*, dok su u nešto manjem broju prisutne *Salix alba*, *S. fragilis*, *Ulmus laevis*, *Acer campestre*, *Euonymus europaeus*, i *Sambucus nigra* (Molnárová et al. 2018). Međutim, na analiziranim lokalitetima na reci Savi, vrste *Alnus glutinosa* i *Fraxinus excelsior* su prisutne samo u gornjem delu rečnog toka, a njihova brojnost i stepen prisutnosti nisu visoki, dok *Salix alba*, *S. fragilis* i *Ulmus laevis* dominiraju duž celog toka (Prilog 1). Slična prostorna distribucija vrsta, utvrđena je i u riparijalnim šumama reke Tagliamento u Italiji, gde su takođe vrste roda *Alnus* najčešće prisutne u gornjem delu toka, zatim roda *Salix* u srednjem delu, a roda *Populus* u donjim nizijskim delovima rečnog toka (Karrenberg et al. 2003).

Ekološki uslovi na staništu, poput količine svetlosti, nutrijenata, vode, temperature i hemijske reakcije podloge su kompleksni i veoma značajni za funkcionisanje riparijalnih ekosistema (Stella et al. 2013). Uvid u ekološke uslove određenog staništa se može dobiti florističko-fitocenološkim istraživanjima, na osnovu životnih formi biljaka, kao i na osnovu indikatorskih vrednosti za vlažnost, kiselost zemljišta, količinu azota, svetlost i temperaturu. Indikatorska vrednost odgovara ekološkom optimumu vrste u odnosu na određeni ekološki faktor (Ellenberg 1979). Ukoliko je indikatorska vrednost vrste za neki od ekoloških faktora različita od realne situacije na terenu, to znači da je ta vrsta izložena delovanju određenih faktora stresa na staništu. Kao rezultat adaptacija na odgovarajuće uslove staništa, biljake razvijaju različite morfološke, anatomske, fiziološke i fenološke karakteristike (Du Rietz 1931; Raunkiaer 1934; Diklić 1984; Stevanović & Janković 2001). U vezi sa tim, u biološkom spektru na analiziranom području najveću zastupljenost imaju hemikriptofite (H), dok je životna forma fanerofita (P) druga po zastupljenosti (Prilog 1, Slika 20). Od ukupnog broja zabeleženih vrsta na ispitivanom području, hemikriptofite i geofite zajedno čine 57%, što ukazuje na postojanje perioda u kojima vladaju nepovoljni uslovi za njihovo funkcionisanje. Kada se ovom broju doda i udeo terofita (T) (20%), procenat vrsta koje ukazuju na prisustvo nepovoljnih perioda tokom sezone se značajno uvećava. Životna forma terofita se povezuje sa antropogenim uticajem, jer ove vrste karakterišu staništa na kojima različiti nepovoljni uticaji (poplave, požari, šumske seče, agrotehničke mere) periodično utiču na smanjenje brojnosti populacija (Diklić 1984; Jarić et al. 2019). Procenat geofita na analiziranim lokalitetima je relativno ujednačen. Sa druge strane, procentualno učešće terofita ima trend povećanja, pri čemu je najveći broj ovih vrsta zabeležen u Šapcu (52%). U biološkom spektru istraživanog područja, fanerofite čine 22% i one su indikatori nešto povoljnijih uslova staništa. Međutim, ova životna forma nije dominantna u biološkom spektru i procenat njene zastupljenosti opada od izvora ka ušću. Smanjenje udela fanerofita kao i povećanje udela terofita na lokalitetima u donjem toku reke ukazuje na izraženiji antropogeni uticaj (Slike 23-34).

Prisustvo alohtonih vrsta takođe može biti pokazatelj antropogene degradacije staništa. Ove vrste u obalnim zonama reka mogu dovesti do narušavanja strukture i funkcije ekosistema uključujući i gubitak biodiverziteta (Richardson & Pyšek 2013; Radovanović et al. 2017). U flori istraživanog područja, zabeležene su 33 (12,3%) alohtone vrste od kojih je 19 prisutno na 5 i više analiziranih lokaliteta (Tabela 1; Prilog 1). Na osnovu dostupnih podataka o prisustvu i statusu ovih vrsta u Srbiji (Lazarević et al. 2012), Hrvatskoj (Boršić et al. 2008), Bosni i Hercegovini (Maslo 2016), i Sloveniji (Izveštaj za projekat Thuja 2: Alien species – our concern, my responsibility; Thuja 2, 2012), ustanovljeno je da se na istraživanom području javljaju 24 alohtone vrste sa invazivnim statusom (Tabela 1). Invazivni status u sve četiri države imaju *Ambrosia artemisiifolia* (zabeležena na 8 lokaliteta), *Amorpha fruticosa*, *Reynoutria japonica*, *Impatiens glandulifera*

(zabeležene na 6 lokaliteta), *Acer negundo* (na 5 lokaliteta), *Asclepias syriaca* (na 4 lokaliteta) i *Ailanthus altissima* (na 1 lokalitetu) (Tabela 1; Prilog 1). Udeo alohtonih i invazivnih vrsta u ukupnoj flori istraživanih lokaliteta pokazuje trend povećanja od izvora ka ušću, što ukazuje na rastuću biološku degradaciju, odnosno na intenzivniji antropogeni uticaj na lokalitetima u donjem delu toka reke Save (Slika 22).

Pored prisustva alohtonih vrsta i učešća određenih životnih formi biljaka, uvid u ekološke uslove na staništima može da se stekne i na osnovu indikatorskih vrednosti biljaka za faktore kao što su vlažnost, kiselost zemljišta (pH), količina azota, svetlost i temperatura (Kojić et al. 1997). Količina vlažnosti na staništima ispitivanih lokaliteta je pogodna za razvoj submezofita, odnosno biljaka koje se mogu javiti i na suvljim staništima, iako preferiraju mezofilnija staništa. Iako vlažnost kao ekološki faktor varira, nije uočen određeni trend od izvora ka ušću. Kiselost podloge odgovara razvoju neutrofilnih biljaka i ona je relativno ujednačena na riparijalnim staništima od izvora ka ušću reke Save, dok količina azota u podlozi pogoduje razvoju mezotrofnih biljaka, odnosno biljaka koje preferiraju zemljišta srednje bogata hranljivim materijama. U odnosu na količinu svetlosti na staništu, uslovi najviše odgovaraju razvoju polusciofita, odnosno vrsta koje zahtevaju minimalno 10% od pune dnevne svetlosti, dok temperaturni uslovi najviše odgovaraju razvoju mezotermnih vrsta. Količina azota i osvetljenost su ekološki faktori koji su pokazali trend porasta od izvora ka ušću, dok za temperaturu kao ekološki faktor nije uočeno postojanje trenda (Slika 21). U odnosu na indikatorske vrednosti za vlažnost i količinu azota, analizirane vrste *J. regia* i *P. alba* pripadaju grupi submezofita i mezotrofnih biljaka, što je u skladu sa karakteristikama vegetacije analiziranog područja. Međutim, *S. alba*, *U. glabra* i *P. nigra* imaju nešto veće potrebe za vlagom i hranljivim materijama na staništu, zbog čega pripadaju grupi mezofita i prelaznoj grupi između mezotrofnih i eutrofnih vrsta. U odnosu na kiselost podloge, *U. glabra* pripada grupi neutrofilnih vrsta, dok ostale analizirane vrste pripadaju prelaznoj grupi između neutrofilnih i bazofilnih biljaka (Tabela 2). Prema indikatorskim vrednostima za svetlost, *S. alba*, *P. nigra* i *J. regia* pripadaju polusciofitama, što je u skladu sa najvećim brojem vrsta na analiziranim lokalitetima. Sa druge strane, *U. glabra* ima niže zahteve za svetlošću (prelazna grupa između sciofita i polusciofita), dok su potrebe vrste *P. alba* za svetlošću veće (prelazna grupa između polusciofita i heliofita) (Tabela 2). U odnosu na temperaturne uslove na staništu, *S. alba* i *U. glabra* su mezotermne vrste, *P. nigra* i *J. regia* pripadaju prelaznoj grupi između mezotermnih i termofilnih vrsta, dok je *P. alba* termofilna vrsta (Tabela 2).

5.2. Osnovne fizičko-hemijske karakteristike zemljišta u obalnoj zoni reke Save

Granulometrijski sastav zemljišta na istraživanom području varira duž rečnog toka. Na lokalitetima gornjeg i srednjeg dela rečnog toka, zemljišta su po mehaničkom sastavu klasifikovana u tri teksturne klase: pesak (Litija), ilovasti pesak (Radovljica, Zagreb, Jasenovac) i peskovita ilovača (Mojstrana, Vrhovo, Čatež, Zagreb). Na lokalitetima donjeg toka, povećava se učešće praha i gline, dok se frakcija peska smanjuje, te ova zemljišta spadaju u teksturne klase: ilovača (Slavonski Brod, Županja, Sremska Mitrovica), praškasta ilovača (Županja, Sremska Mitrovica, Šabac, Beograd), i praškasto glinovita ilovača (Beograd) (Tabela 5). Ovakve promene teksturnog sastava duž rečnog toka su uobičajene za riparijalna zemljišta (Jerolmack & Brzinski 2010). Granulometrijski sastav utiče i na sve druge fizičko-hemijske osobine zemljišta. Naime, u peskovitim zemljištima gornjeg i srednjeg dela toka, padavine i poplave lakše spiraju čestice zemljišta, organsku materiju, minerale i druge hemijske elemente (Dvořák & Novák 1994). Tako je na istraživanim lokalitetima u zemljištima sa većim sadržajem peska usled veće vodopropustljivosti izmeren niži procenat higroskopne vlage (Tabela 5). Sa druge strane, ovaj tip zemljišta karakteriše dobra aerisanost. Zemljišta sa većim sadržajem gline imaju veliku adsorptivnu površinu, odnosno visok kapacitet za vezivanje higroskopne vlage, kao i za vezivanje potencijalno toksičnih hemijskih elemenata. Samim tim, procenat gline u granulometrijskom sastavu zemljišta može da utiče na parametre jonske razmene (CEC) (Farrah et al. 1980). Gvožđe ima visok afinitet za adsorpciju na čestice gline, nešto slabije se adsorbuju Cd, Co i Ni, dok se ostali hemijski elementi u manjoj meri vezuju za ovu frakciju zemljišta (Blume & Brümmer 1987; Kabata-Pendias 2011).

Veća količina vlage se može javiti i usled višeg sadržaja organske materije i humusa u zemljištu (Antić et al. 1982), što potvrđuju i dobijeni rezultati. Tako je najviši procenat higroskopne vlage izmeren na lokalitetima sa najvećim sadržajem organske materije (Tabele 3 i 4). Generalno, količina organske materije u zemljištu varira od <1% (peskovita zemljišta) do >90% (tresetišta) (Alloway 1995). Količina organske materije je važna karakteristika jer kontroliše nekoliko drugih svojstava zemljišta, tako što povećava kapacitet jonske razmene (CEC), aeraciju zemljišta i vodni kapacitet, dok vezivanjem hemijskih elemenata smanjuje njihovu biodostupnost (Adriano 2001; FAO 2005; Kabata-Pendias 2011). Organska materija snažno vezuje Cr, Fe i Pb, nešto slabije Cd i Ni, dok se elementi kao Mn i Zn najslabije vezuju (Blume & Brümmer 1987; Kabata-Pendias 2011). Adsorpcija Cd, Ni i Cu se značajno pojačava u prisustvu huminskih jedinjenja, međutim u većini mineralnih zemljišta količina organske materije ne prelazi 2%, te stoga organska materija ne može biti od najveće važnosti u regulisanju mobilnosti i dostupnosti hemijskih elemenata u zemljištu (Kabata-Pendias 2011). Rezultati sprovedenih analiza na istraživanim lokalitetima gornjeg i srednjeg dela toka reke Save, pokazuju da se količina organskog ugljenika u uzorcima zemljišta javlja u većem procentu u odnosu na proseku za mineralna zemljišta (>2%) (Tabela 4). Sa druge strane, na lokalitetima u donjem delu toka, na dubinama zemljišta 0-30 cm (Šabac) i 30-60 cm (Županja, Sremska Mitrovica, Šabac i Beograd), količina organskog ugljenika je <2% (Tabela 4). Humus, kao najvažniji deo organske materije koji je odgovoran za vezivanje hemijskih elemenata, u proseku predstavlja oko 75% od ukupne količine organske materije zemljišta (Alloway 1995). U ispitivanim zemljištima, visok udeo humusa u odnosu na količinu organskog ugljenika (>75%) izmeren je u Mojstrani, Čatežu (na dubini 30-60 cm), Županji (na dubini 30-60 cm), Sremskoj Mitrovici, Šapcu i Beogradu (na svim dubinama zemljišta) (Tabela 4). Međutim, s obzirom da je procenat organske materije nizak (<2%) i udeo humusa u zemljištu na ovim lokalitetima je takođe nizak. Povoljan odnos ugljenika i azota (C:N) za razgradnju organske materije (<20; Esmaeilzadeh & Ahangar 2014) izračunat je u uzorcima zemljišta na lokalitetu Mojstrana u gornjem, i na lokalitetima Županja, Sremska Mitrovica, Šabac i Beograd u donjem delu toka (Tabela 4). Zemljišta sa visokim odnosom C:N, kao što je ustanovljeno na lokalitetima Radovljica, Litija, Zagreb i Jasenovac, mogu imobilizovati N u zemljištu koji je potreban mikroorganizmima za proces razgradnje organske materije (Esmaeilzadeh & Ahangar 2014). Takođe, visok odnos C:N ukazuje

na nisku dostupnost N, odnosno na potencijalni deficit N u biljkama, što može negativno da utiče na njihov rast i razvoj (Hagemann et al. 2016).

Hemijska reakcija zemljišta (pH) je uslovljena prisustvom i odnosom slobodnih H^+ i OH^- jona u zemljištu. Takođe, određena je klimatskim uslovima i geološkim i topografskim odlikama, zatim karakteristikama vegetacije, podzemnim vodama, kao i mineralnim i organskim sastavom samog zemljišta (Knežević & Košanin 2007; Soil Survey Staff 2011). Hemijska reakcija zemljišta utiče na biodostupnost, mobilnost, i ispiranje hemijskih elemenata u zemljištu (Alloway 1995; Adriano 2001; Kabata-Pendias 2011). Generalno, kapacitet zemljišta za vezivanje većine hemijskih elemenata se povećava sa povećanjem pH reakcije, sa očekivanim maksimumom oko neutralnog opsega. Izuzeci su As, B, Se i Cr, koji su mobilniji u alkalnim uslovima (Adriano 2001). Takođe, najveći broj potencijalno toksičnih elemenata je najdostupniji u zemljištima kisele reakcije (Kabata-Pendias 2011). Sa druge strane, u uslovima kada je $pH > 7$ povećava se rizik od nedostatka esencijalnih mikronutrijenata, uključujući B, Fe, Mn i Zn (Adriano 2001; Li et al. 2013). Većina biljaka toleriše pH reakciju zemljišta u opsegu od 3,5 – 8,5 (Stevanović & Janković 2001). Prema izmerenim pH vrednostima, analizirana zemljišta se svrstavaju u grupu blago do umereno alkalnih (Soil Science Division Staff 2017), dok u odnosu na supstitucionu kiselost pripadaju grupi neutralnih do blago alkalnih zemljišta (Tabela 4). Supstitucionu kiselost, pored količine slobodnih H^+ jona, predstavlja i H^+ jone adsorbovane na čvrstoj fazi zemljišta. Stoga je pH vrednost u rastvoru KCl uvek niža od pH rastvora u vodi. Pod određenim uslovima, H^+ joni adsorbovani na čvrstoj fazi zemljišta mogu da se oslobode u zemljišni rastvor, što ukazuje da ispitivana zemljišta koja su blago do umereno alkalne reakcije, u izmenjenim uslovima sredine mogu da postanu neutralna do blago alkalna. Alkalnoj reakciji zemljišta doprinosi i krečnjak kao geološka podloga (Simić et al. 2015; ISRBC 2016; Schwarz 2016).

Kapacitet katjonske razmene zemljišta (CEC) je opšti pokazatelj komponenti zemljišta (gline, organske materije i oksida) koje mogu ograničiti rastvorljivost i mobilnost elemenata, odnosno predstavlja specifičan faktor koji određuje njihovu biodostupnost (Adriano 2001). Elementi kao što su Cu, Ni, Pb i Zn imaju visoke afinitete prema organskoj materiji, i njihovim vezivanjem za organsku materiju se vrši uticaj na svojstva CEC. Količina gline takođe utiče na CEC, s obzirom da se sa većim procentom gline povećava i kapacitet katjonske razmene. Pored organske materije i sadržaja gline, na CEC utiče i prisustvo oksida Al, Mn i Fe, jer oni imobilizuju metale u zemljištu (Adriano 2001). Što je vrednost CEC za zemljište veća, veća je količina potencijalno toksičnih elemenata koje zemljište može da zadrži bez potencijalnog rizika po životnu sredinu. Sa druge strane, visoke vrednosti CEC održavaju i visoke količine metala u zemljištu, što predstavlja stalni izvor ovih elemenata za korenove biljaka (Streit & Stumm 1993). Vrednosti CEC pri pH od 7,6 za različite tipove minerala gline (kaolinit, montmorillonit, vermikulit) se kreću u opsegu od od 3 do 160 $cmol\ kg^{-1}$, dok CEC za humus pri istoj pH vrednosti iznosi oko 200 $cmol\ kg^{-1}$ (Streit & Stumm 1993). Rezultati pokazuju niske vrednosti CEC za analizirana zemljišta, koje ni u jednom uzorku ne prelaze 10 $cmol\ kg^{-1}$ (Tabela 4). To može biti posledica niskog sadržaja organske materije, a u nekim uzorcima čak i niskog sadržaja čestica gline. Tako, najniži CEC je zabeležen u Litiji, a na istom lokalitetu se beleži i najniži procenat gline u zemljištu, dok su najviše vrednosti CEC izmerene na lokalitetu Mojstrana gde zemljište sadrži najveći procenat organske materije (Tabele 3 i 4). U ukupnom kapacitetu katjonske razmene analiziranih zemljišta dominantni su bazni izmenljivi katjoni (Ca, Mg, K i Na). Takođe, visok procenat zasićenosti bazama u svim analiziranim zemljištima je u skladu sa utvrđenom alkalnom reakcijom zemljišta (Tabela 4).

Generalno, bazna reakcija zemljišta, zasićenost bazama i nizak sadržaj organske materije i humusa, mogu da doprinesu smanjenju mobilnosti i dostupnosti većine ispitivanih potencijalno toksičnih elemenata (Alloway 1995; Adriano 2001; Kabata-Pendias & Mukherjee 2007).

Elektroprovodljivost zemljišnog rastvora ima trend porasta od izvora do ušća reke, što je u skladu sa promenom teksture zemljišta (Tabele 3 i 4). Elektroprovodljivost analiziranih zemljišta, kao indikator prisustva rastvorljivih soli, bila je veoma niska ($EC = 0,09-0,33\ dS\ m^{-1}$), i daleko ispod vrednosti koje mogu uticati na fiziološke procese u biljkama (vrednosti $EC \geq 4\ dS\ m^{-1}$; Maas & Grattan 1999). Dodatno, u odnosu na klasifikaciju zemljišta po salinitetu (Soil Science Division

Staff 2017), sva analizirana zemljišta spadaju u grupu nezaslanjenih ($<2 \text{ dS m}^{-1}$; Tabela 4), što znači da izmerena količina soli u zemljištu nema negativne efekte na vegetaciju obalne zone reke Save.

5.3. Sadržaj ukupnih i DTPA dostupnih frakcija, kvantitativni udeo dostupnih frakcija potencijalno toksičnih elemenata u zemljištu i procena nivoa kontaminacije zemljišta

Rizik od zagađenja zemljišta potencijalno toksičnim elementima zavisi od njihove biodostupnosti i zato je prilikom procene ekološkog statusa zemljišta potrebno utvrditi uticaj fizičko-hemijskih karakteristika zemljišta na dostupnost elemenata (Alloway 1995; Adriano 2001; Kabata-Pendias & Pendias 2001). Najvažniji fizičko-hemijski parametri koji regulišu procese sorpcije i desorpcije elemenata u zemljištu su hemijska reakcija zemljišta (pH), kapacitet katjonske razmene (CEC), sadržaj čestica gline i organske materije, prisustvo oksida Al, Fe i Mn (ACE), kao i prisustvo mikroorganizama u zemljištu (Adriano 2001; Kabata-Pendias 2011). Značajan uticaj na dostupnost elemenata imaju i same biljke lučenjem eksudata iz korena (Alloway 1995). Međutim, pH reakcija zemljišta je jedan od najvažnijih regulatora dostupnosti elemenata, s obzirom da ona utiče na procese katjonske razmene, menja naelektrisanje površine čestica gline i organske materije i time reguliše sorpciju elemenata na njihovoj površini i njihovu pristupačnost biljkama (Adriano 2001). Korišćenjem DTPA rastvora određuju se frakcije elementa koje su dostupne biljkama i koje ukoliko su u opsegu toksičnih sadržaja mogu izazvati morfološka i fiziološka oštećenja (Mehra & Farago 1994; Roy et al. 2016; Gajić 2014; Kostić 2014).

Analiza ukupnog sadržaja hemijskih elemenata u zemljištima na ispitivanim lokalitetima je obuhvatila sledeće elemente: Al, As, B, Cd, Cr, Cu, Fe, Li, Mn, Ni, Pb, Se, Sr i Zn. Selen nije detektovan ni u jednom analiziranom uzorku zemljišta, zbog čega je isključen iz dalje diskusije. Kako bi se procenio nivo kontaminacije ispitivanih zemljišta, korišćeno je više smernica: prirodni fon istraživanog područja (Marković et al. 2018), prirodni fon za zemljišta Evrope (background vrednost; Gawlik & Bidoglio 2006), prosečan sadržaj ovih elemenata u svetskim zemljištima (Kabata-Pendias & Mukherjee 2007; Kabata-Pendias 2011), kao i kritičan opseg elemenata za biljke (Alloway 2013). Hemijski elementi poreklom iz antropogenih izvora se obično deponuju u površinskim slojevima zemljišta, a analiza njihove distribucije po dubini zemljišta pruža informacije o poreklu i potencijalnom riziku od zagađivanja (Kowalska et al. 2018). Zato je u ovom istraživanju izdvojen i posebno analiziran sadržaj potencijalno toksičnih elemenata u površinskom sloju zemljišta dubine 0-10 cm, a isto tako utvrđen je i sadržaj hemijskih elemenata u uzorcima zemljišta na dubinama 0-30 cm i 30-60 cm.

Analizom uzoraka obalnog zemljišta reke Save utvrđeno je da su maksimalni sadržaji As, Cd, Cr, Cu, Mn i Ni izmereni na pojedinim lokalitetima, bili viši u odnosu na ranije izračunat prirodni fon ovih elemenata za istraživano područje (Marković et al. 2018), zatim vrednosti prirodnog fona predložene za zemljišta Evrope (Gawlik & Bidoglio 2006), i naročito u odnosu na prosečne vrednosti za svetska zemljišta (Kabata-Pendias & Mukherjee 2007; Kabata-Pendias 2011). Izmereni su dvostruko veći sadržaji As, Cd, Cr, Ni, Pb i Zn od njihovih vrednosti prirodnog fona na istraživanom području, i to: As i Cd u Beogradu, Cr i Ni na lokalitetima od Županje do Beograda, Pb u Sremskoj Mitrovici i Beogradu, a Zn u Radovljici, Sremskoj Mitrovici i Beogradu. Slično tome, izmereni sadržaji Cu su bili nekoliko puta veći od vrednosti prirodnog fona za istraživano područje, i to u zemljištima na lokalitetima Čatež, Županja, Slavonski Brod, Sremska Mitrovica, Šabac i Beograd. Ovi rezultati ukazuju na veliki antropogeni pritisak u pojedinim delovima reke, pri čemu se lokalno zagađenje zemljišta pojedinim potencijalno toksičnim elementima može odraziti i na opstanak biljaka u obalnoj zoni reke Save.

Elementi koji se na istraživanom području javljaju u potencijalno toksičnim koncentracijama su: Cr čiji sadržaji u zemljištu premašuju kritični opseg za biljke od 100 mg kg^{-1} u donjem toku reke, od Županje do Beograda na svim dubinama zemljišta (123 mg kg^{-1} u Županji i Šapcu; 144 mg

kg⁻¹ u Sremskoj Mitrovici; 138 mg kg⁻¹ u Beogradu), zatim Cu koji je u kritičnom opsegu za biljke (60-125 mg kg⁻¹) u Beogradu i višestruko premašuje kritični opseg u Čatežu (134,56-382 mg kg⁻¹), kao i Ni koji takođe premašuje kritični opseg za biljke od 100 mg kg⁻¹ na lokalitetima Županja, Šabac i Beograd. Isto tako, sadržaj Zn se na većini lokaliteta nalazi u okviru opsega kritičnog za biljke (70-400 mg kg⁻¹), pri čemu se samo u Beogradu približava gornjoj granici kritičnih koncentracija. Lokalno, As može biti potencijalno toksičan za biljke na lokalitetu Beograd, jer je izmereni sadržaj ovog elementa u okviru opsega kritičnog za biljke, na dubini zemljišta 30-60 cm (Tabela 5; Alloway 2013).

U poređenju sa lokalnim i regionalnim vodotokovima na prostoru Srbije i na teritoriji Evrope koji su pod istim ili sličnim antropogenim pritiscima, može se konstatovati da je zemljište duž celog toka reke u proseku zagađenije od obalnog zemljišta velike evropske reke Dunav, ali manje zagađeno od nekih drugih evropskih reka kao što su Elba, Guadianar i Leie, kao i da se nivoi zagađenja razlikuju u odnosu na pojedine potencijalno toksične elemente (Tabela 127). Dobijeni rezultati pokazuju generalno niži sadržaj Al, As, Cd, Cr, Fe, Mn, Pb i Zn, i viši sadržaj Cu i Ni u zemljištima obalne zone reke Save, u poređenju sa istim u zemljištima obalnih zona drugih evropskih reka sa sličnim antropogenim pritiscima (urbanizacija i industrijalizacija), poput Elbe u Nemačkoj (Zimmer et al. 2011; Schulz-Zunkel et al. 2013), Scheldt i Leie u Belgiji (Letzens et al. 2011), kao i reke Guadianar u Španiji, koja je 1999. godine bila suočena sa ekološkom katastrofom posle pucanja brane i izlivanja jalovine iz okolnog rudnika (Domínguez et al. 2016).

Analiza DTPA frakcije elemenata dostupnih biljkama pokazuje da je sadržaj As, Cd, Cr, Fe, Ni, Pb i Zn bio ispod kritičnog opsega za biljke na svim ispitivanim lokalitetima, dok je sadržaj Cu u kritičnom opsegu izmeren samo na lokalitetu Čatež (85,28 mg kg⁻¹). U skladu sa tim, vrednosti koeficijenta dostupnosti su bile niske za As, B, Fe, Mn, Ni, Sr i Zn (<10%), što ukazuje na njihovu potencijalno nisku fitotoksičnost (Tabela 7).

Sa druge strane, utvrđena je visoka dostupnost i potencijalna toksičnost Cd na lokalitetu Beograd (>40%). Sličan udeo dostupne frakcije Pb (do 40%), ustanovljen je na lokalitetima u gornjem toku reke (Radovljica, Litija, Vrhovo i Čatež), dok je nizak udeo dostupne frakcije ovog elementa (<20%) utvrđen na lokalitetima u donjem toku reke. Dobijeni rezultati potvrđuju nalaze ranijih istraživanja o zagađenju zemljišta Pb u gornjem toku reke Save iz lokalnih antropogenih izvora (Pavlović et al. 2019). Udeo dostupnih frakcija Cu je na pojedinim lokalitetima bio >20% (Mojstrana, Radovljica, Čatež, Slavonski Brod i Beograd) (Tabela 7).

Prema dobijenim rezultatima, među elementima esencijalnim za biljke, samo Cu na pojedinim lokalitetima može biti potencijalno fitotoksičan, dok od neesencijalnih elemenata fitotoksični mogu biti Cd na staništima u donjem, i Pb u gornjem toku reke Save.

Tabela 127. Sadržaj PTE u riparijalnom zemljištu reke Save i drugih evropskih reka sa sličnim intenzitetom antropogenog pritiska

Istraživano područje	Al (mg kg ⁻¹)	As (mg kg ⁻¹)	Cd (mg kg ⁻¹)	Cr (mg kg ⁻¹)	Cu (mg kg ⁻¹)	Fe (mg kg ⁻¹)	Mn (mg kg ⁻¹)	Ni (mg kg ⁻¹)	Pb (mg kg ⁻¹)	Sr (mg kg ⁻¹)	Zn (mg kg ⁻¹)	Reference
Sava	5183,44- 46951,50	3,13- 25,34	0-1,98	15,91- 144,28	8,42- 382,26	4588,65- 58940,12	137,97- 992,54	7,20- 113,90	10,74- 87,12	63,23- 205,10	41,48- 357,83	Rezultati dobijeni u ovoj disertaciji (Tabela 5)
Sava		7,6-29,3	0,13-3,11	36,3- 282,8	17,9- 148,62			15,6-168	21-83,6		91,7- 328,3	Marković et al. 2018
Sava		4,2-15,63	0,13-0,49	6,97- 74,15	9,72- 32,53			10,11- 116,41	37,8- 180,34		15,01- 73,30	Pavlović et al. 2019
Sava			0,2-3,5	7,1-110	4,6-130	3866- 55770	400-2000	22-63	3,7-76,2	49,8- 255,2	18,5- 185,2	Vertačnik et al. 1995
Sava		5 - 18	0,2 - 0,8		12 - 35				18 - 58		53 - 135	Halamić et al. 2003
Dunav		0,06-23,5	0,7-1,9	9,7-101	0,01-526			5-69,2	17,7-85		28,9- 197,7	Pavlović et al. 2016
Velika Morava		8-20,2	0,13-0,28	35,0-75,5	24,67- 41,6		570-973	50-174	21,5-126		67-162,6	Jakovljević et al. 1997
Kolubara		1,5-10,1	0,01-1,88	13,6- 134,5	6,9-146,2			17,9- 178,4	8,8-24,5		36-126	Čakmak et al. 2018
Elba, Nemačka		2,7-124	0,1-12,4	8-206	5-283			5-70	6-305		16-1266	Schulz-Zunkel et al. 2013
Elba, Nemačka	100-220	66	7,6		220	200-340	260-400	45	210		740	Zimmer et al. 2011
Guadamar, Španija		650	<2,5		<250				2920		<800	Domínguez et al. 2016
Scheldt, Belgija			4,4	100	25		510	27	50		272	Lettens et al. 2011
Leie, Belgija			9,4	191	129			39	173		986	Lettens et al. 2011

Bor

Sadržaj B u različitim tipovima zemljišta na globalnom nivou se kreće u opsegu od 10 - 100 mg kg⁻¹. U analiziranim zemljištima duž reke Save, sadržaj B iznad svetskog proseka izmeren je u Županji na dubini 30-60 cm, u Šapcu na dubinama 0-10 cm i 30-60 cm, kao i u Sremskoj Mitrovici i Beogradu u svim analiziranim dubinama zemljišta (Tabela 5). Najviši sadržaj B (136,27 mg kg⁻¹) izmeren je u površinskom sloju zemljišta (0-10 cm) u Beogradu, što je rezultat emisija iz termoelektrana Nikola Tesla A i B u Obrenovcu (Kostić et al. 2018). Bor se smatra najmobilnijim mikronutrijentom u zemljištu, i njegova dostupna frakcija može da dostigne i do 5,3% njegovog ukupnog sadržaja (Kabata-Pendias 2011). Međutim, dostupna frakcija B u analiziranim zemljištima bila je <1% od njegove ukupne količine (AR indeks 0,11-0,60%; Tabela 7), što je rezultat fizičko-hemijskih karakteristika zemljišta (pH reakcija, količina organske materije i gline, prisustvo oksida Al i Fe (ACE zemljišta) i dr.; Nable et al. 1997; Kabata-Pendias 2011). Bor kao esencijalni element ima važnu ulogu u fiziološkim procesima biljaka, a takođe je važan i za njihovu otpornost na patogene (Mehra & Farago 1994).

Bakar

Deficit ili prekomerni sadržaj Cu kod biljaka često dovodi do pojave simptoma deficita ili toksičnosti (Alloway 1995). Na staništima izloženim zagađivanju, na primer u urbanim i industrijskim zonama, kod drvenastih vrsta se javlja deficit ovog esencijalnog elementa, posebno u zemljištima alkalne reakcije (pH>7; Pavlović et al. 2017b). Takođe, deficit Cu se može javiti kod biljaka koje rastu na peskovitim zemljištima alkalne reakcije, zatim u zemljištima formiranim na karbonatnoj podlozi, kao i u zemljištima bogatim organskom materijom, odnosno u zemljištima koja sadrže <10 mg kg⁻¹ Cu (Kabata-Pendias 2011). Rezultati ovih istraživanja su pokazali nizak sadržaj ovog elementa (8,42 mg kg⁻¹) u zemljištu dubine 30-60 cm, na lokalitetu Jasenovac (Tabela 5), i po tome se ovaj lokalitet izdvaja od svih ostalih (Tabela 14). Do deficita Cu najverovatnije dolazi usled visokog učešća peska u granulometrijskoj strukturi zemljišta, kao i alkalne reakcije zemljišta na ovom lokalitetu (Tabele 3 i 4).

Sa druge strane, toksičnost Cu za biljke je uslovljena fizičko-hemijskim karakteristikama zemljišta, a ispoljavanje simptoma toksičnosti je često specifično za vrstu (Alloway 1995). Najvažniji prirodni izvor Cu u zemljištu je matična podloga (Alloway 1995; Kabata-Pendias 2011), dok njegov prirodni fon zavisi od teksture i količine organske materije. Mestimično, sadržaj ovog elementa u zemljištu može biti daleko iznad prirodnog fona usled antropogenih aktivnosti kao što su poljoprivreda (đubrenje, primena fungicida na bazi Cu) i rudarstvo. S obzirom da se ruda Cu već dugo eksploatiše, prerađuje i koristi u razne svrhe, gotovo je nemoguće utvrditi količinu ovog elementa prirodnog porekla. U literaturi se navode prosečno veći sadržaji Cu u zemljištu, koji predstavljaju zbir prirodnog sadržaja ovog elementa i antropogenih unosa u dugom vremenskom periodu (Kabata-Pendias 2011). Zemljišta na globalnom nivou u proseku sadrže između 13 mg kg⁻¹ i 23 mg kg⁻¹ Cu (Kabata-Pendias & Mukherjee 2007), dok se predloženi prirodni fon za Cu u zemljištima Evrope kreće u opsegu od 50-140 mg kg⁻¹ (Gawlik & Bidoglio 2006), a na istraživanom području prirodni fon je 24,12 mg kg⁻¹ (Marković et al. 2018). Prema Alloway (2013) zemljišta koja sadrže između 60 mg kg⁻¹ i 125 mg kg⁻¹ Cu mogu biti toksična za biljke. U odnosu na date opsege, sadržaj ovog elementa u zemljištima u Mojstrani, Radovljici, Litiji, Vrhovu i Zagrebu (na svim analiziranim dubinama), kao i u Slavonskom Brodu (na dubinama 0-10 cm i 0-30 cm) je na nivou proseka za svetska zemljišta, ali ispod nivoa prirodnog fona za istraživano područje, kao i prirodnog fona za evropska zemljišta (<23 mg kg⁻¹; Tabela 5). Sadržaj Cu na nivou prirodnog fona za evropska zemljišta izmeren je u Beogradu na svim analiziranim dubinama, kao i u Čatežu i Sremskoj Mitrovici na dubini 30-60 cm. Međutim, sadržaj Cu u uzorcima zemljišta u Beogradu, na dubinama 0-30 cm i 30-60 cm je u opsegu koji se smatra kritično visokim za rast biljaka (Tabela 5). Zemljišta koja sadrže >100 mg kg⁻¹ Cu se smatraju zagađenim (Baize 1997; Adriano 2001). U tom

smislu se ističe lokalitet Čatež, gde prosečna izmerena koncentracija ovog elementa u površinskom sloju zemljišta (dubine 0-10 cm) iznosi 382,26 mg kg⁻¹, što je ujedno maksimalna izmerena koncentracija Cu u zemljištu na celom toku reke. Na ovom lokalitetu, na dubini zemljišta 0-30 cm, sadržaj Cu je takođe >100 mg kg⁻¹. Međutim, udeo frakcije dostupne biljkama je <20%, i ne predstavlja značajan rizik za biljke, što potvrđuje i izmeren deficit ovog elementa u korenu i listovima *P. nigra* i *J. regia* (Tabele 5, 6, 7, 39, 40, 90, 91). Povišen nivo Cu u Čatežu je antropogeno uslovljen. Naime, ovaj lokalitet se nalazi u vinogorju „Posavska“, gde je primena fungicida, koji predstavljaju jedinjenja Cu veoma česta, što dovodi do njegovog akumuliranja u zemljištu, a time i do kontaminacije zemljišta i potencijalne toksičnosti za biljke (Fan et al. 2011; Miotto et al. 2017).

Imajući u vidu da je mobilnost Cu generalno niska, ovaj element dugo ostaje u zemljištu (Hutchinson 1979). Kritičan sadržaj Cu na lokalitetu Beograd se može dovesti u vezu sa antropogenim aktivnostima i intenzivnim drumskim i rečnim saobraćajem u obalnoj zoni reke Save, usled čega dolazi do oslobađanja Cu, koji se zatim deponuje u obalnom zemljištu i rečnom sedimentu (Akan et al. 2013). Analize su pokazale da je biljkama dostupno i do 48,25% ukupnog sadržaja Cu u ispitivanim zemljištima na pojedinim lokalitetima (Tabela 7). Usled afiniteta ovog elementa za vezivanje za organsku materiju, a posebno za huminske kiseline, najviši sadržaji Cu su najčešće prisutni u gornjim slojevima zemljišta, a ova karakteristika Cu se takođe povezuje i sa antropogenim zagađivanjem (Adriano 2001; Mrvić 2009; Kabata-Pendias 2011). Međutim, dobijeni rezultati ne pokazuju pravilnost u akumulaciji Cu u površinskom sloju zemljišta na analiziranim lokalitetima, koje karakteriše spiranje organske materije iz površinskih slojeva zemljišta usled periodičnih plavljenja.

Takođe, rezultati ovih istraživanja su pokazali generalno viši sadržaj Cu u obalnom zemljištu reke Save u poređenju sa drugim vodotokovima (Tabela 127). Izuzetak je reka Dunav, koja se odlikuje veoma visokim sadržajem ovog elementa u uskoj zoni na teritoriji Srbije (ušće reke Timok u Dunav), što je rezultat postojanja prirodnih nalazišta rude Cu koja se eksploatiše i prerađuje, i dalje doprinosi zagađenju obalnih zemljišta u ovom delu reke (Pavlović et al. 2016).

Aluminijum, gvožđe i mangan

Visok sadržaj Fe, Mn i Al u zemljištu je očekivan, s obzirom da su ovi elementi najzastupljeniji u litosferi. Raspadanjem matične stene oni dospevaju u zemljište, gde se javljaju u formi oksida i hidroksida. Na globalnom nivou udeo Al u zemljištu je 7% (odnosno oko 70000 mg kg⁻¹), dok je udeo Fe 3,5% odnosno oko 35000 mg kg⁻¹ (Kabata-Pendias & Mukherjee 2007). Količina Al u analiziranim uzorcima zemljišta je bila u okvirima globalnog proseka, dok je količina Fe bila iznad svetskog proseka u površinskim slojevima zemljišta (dubine 0-10 cm), na lokalitetima Županja, Šabac i Beograd (Tabela 5). Sadržaj Mn u zemljištima na svetskom nivou se kreće u opsegu od 411-550 mg kg⁻¹ (Kabata-Pendias & Mukherjee 2007). U analiziranim uzorcima zemljišta, u delu toka Save od Slavenskog Broda do Beograda izmeren sadržaj Mn je bio iznad proseka za svetska zemljišta. U odnosu na izračunati prirodni fon Mn u zemljištu istraživanog područja, koji iznosi 772,97 mg kg⁻¹ (Marković et al. 2018), izmeren je veći sadržaj ovog elementa na lokalitetima Županja, Šabac i Beograd (Tabela 5). Značajne razlike u sadržaju Al, Fe i Mn u zemljištu su utvrđene između ispitivanih lokaliteta, pri čemu se posebno izdvajaju lokaliteti u donjem delu toka, od Županje do Beograda (Tabele 9,15 i 17).

Generalno, niska dostupnost Al, Fe i Mn je rezultat neutralne do blago alkalne reakcije ispitivanih zemljišta (Tabela 4; Adriano 2001; Kabata-Pendias 2011). Naime, Al je skoro nedostupan u zemljištima sa pH vrednošću >5,5 (Silva 2012), a alkalna reakcija zemljišta takođe uslovljava nižu dostupnost Fe i Mn (Kabata-Pendias 2011). Niska dostupnost ovih elemenata, pored alkalne pH vrednosti, može biti uslovljena i niskim procentom organske materije, procentualno niskim učešćem frakcije gline, kao i oksido-redukcionim uslovima koji nastaju u periodima

plavljenja (Tabela 4) (Kabata-Pendias 2011). U ispitivanim zemljištima je izmeren najveći procenat dostupnog Mn u površinskim slojevima (0-10 cm; Tabela 7).

Cink

Upotreba Zn tokom istorije otežava određivanje njegovog prirodnog fona u zemljištu. Njegove koncentracije u zemljištu na globalnom nivou iznose 45-60 mg kg⁻¹ (Kabata-Pendias & Mukherjee 2007). Sa druge strane, Gawlik & Bidoglio (2006) predlažu prirodni fon Zn za zemljišta Evrope u opsegu od 150-300 mg kg⁻¹, dok prirodni fon ovog elementa za poplavnu zonu reke Save iznosi 91,64 mg kg⁻¹ (Marković et al. 2018). Dodatno, sadržaj Zn u zemljištu u opsegu 70-400 mg kg⁻¹ se smatra kritičnim za biljke (Alloway 2013). Dobijeni rezultati pokazuju da je sadržaj Zn iznad prirodnog fona istraživanog područja izmeren u zemljištima u Mojstrani, Čatežu, Sremskoj Mitrovici, Šapcu i Beogradu na svim analiziranim dubinama, u Radovljici na dubini od 30-60 cm, i u Županji na dubini od 0-30 cm (Tabela 5). Takođe, sadržaj Zn iznad prirodnog fona za zemljišta Evrope je izmeren u donjem toku reke, u Sremskoj Mitrovici i Beogradu, na dubini od 30-60 cm (Tabela 5). Kritičan sadržaj Zn za biljke je izmeren u zemljištima na većem broju lokaliteta: Mojstrana, Čatež, Županja, Sremska Mitrovica, Šabac i Beograd (na svim analiziranim dubinama), Vrhovo (na dubini 0-30 cm), Radovljica, Zagreb i Slavonski Brod (na dubini od 30-60 cm) (Tabela 5). Na lokalitetu Beograd je izmeren najviši sadržaj Zn (357,83 mg kg⁻¹). Na sadržaj ovog elementa u zemljištima, kao i na njegovu mobilnost i dostupnost utiču udeo gline u granulometrijskom sastavu, alkalni uslovi i sadržaj organske materije u zemljištu (Alloway 1995; Adriano 2001; Kabata-Pendias 2011; Hafeez et al. 2013) (Tabele 3, 4, i 7).

Pored relativno visokog ukupnog sadržaja ovog elementa u analiziranim zemljištima, njegova dostupnost je varirala od samo 1,04% do 16,82% (Tabele 5 i 7). Niska dostupnost je najverovatnije uslovljena alkalnom pH vredošću zemljišta, i niskim udelom gline i organske materije. Zemljišta koja sadrže manje od 0,5 mg kg⁻¹ DTPA dostupnog Zn, potencijalno mogu da izazovu deficit ovog elementa kod biljaka (Alloway 1995). Međutim, najniži izmereni DTPA dostupan sadržaj Zn na lokalitetima istraživanog područja iznosi 0,74 mg kg⁻¹ (Županja; Tabela 6), što pokazuje da analizirana zemljišta nisu u opsegu deficita.

U poređenju sa drugim vodotokovima, izmereni sadržaji Zn na ispitivanim lokalitetima su bili niži od istih u obalnim zemljištima reka Elbe, Guadianar i Leie, i viši u odnosu na iste duž Dunava i Kolubare (Tabela 127). Takođe, izmereni sadržaji Zn u ovom istraživanju su viši od istih prikazanih u ranijim istraživanjima riparijalne zone reke Save, što može biti posledica poplavnog talasa iz 2014. godine, kao i razlike u metodologiji određivanja sadržaja hemijskih elemenata u zemljištu.

Hrom i nikel

Matična stena predstavlja primarni prirodni izvor Cr i Ni u zemljištu (Alloway 1995; Adriano 2001; Kabata-Pendias 2011), dok su antropogeni izvori emisije poreklom iz industrije proizvodnje i prerade metala, papira, đubriva, kao i sagorevanja uglja i nafte (Alloway 1995; Kabata-Pendias 2011). U proseku, svetska zemljišta sadrže između 47 i 51 mg kg⁻¹ Cr, dok sadržaj Ni u zemljištima na globalnom nivou varira u opsegu od 13 do 26 mg kg⁻¹ (Kabata-Pendias & Mukherjee 2007). Izmereni sadržaji Cr i Ni u analiziranim uzorcima zemljišta u donjem delu rečnog toka (od Slavenskog Broda do Beograda), iznad su prosečnih sadržaja ovih elemenata u zemljištima na svetskom nivou (Tabela 5). To je rezultat uticaja geološkog supstrata u donjem toku reke i aluvijalnih nanosa usled plavljenja reka Bosne i Kolubare (Mrvić et al. 2010; Grba et al. 2015; Čakmak et al. 2018). Prirodni fon u zemljištima Evrope za Cr iznosi 50-100 mg kg⁻¹, dok je prirodni fon za Ni u opsegu 30-75 mg kg⁻¹ (Gawlik & Bidoglio 2006). Prema Marković et al. (2018), izračunati prirodni fon Cr u zemljištima na istraživanom području iznosi 72,52 mg kg⁻¹, dok

za Ni iznosi 41,33 mg kg⁻¹. U odnosu na kritičan opseg ovih elemenata za biljke, sadržaji Cr u zemljištu su između 75-100 mg kg⁻¹, a Ni >100 mg kg⁻¹ (Alloway 2013). Rezultati su pokazali veći sadržaj Cr i Ni u zemljištima na lokalitetima Županja, Sremska Mitrovica, Šabac i Beograd u odnosu na prirodni fon za istraživano područje, predloženi prirodni fon za zemljišta Evrope, kao i kritični opseg za rast i razvoj biljaka (Tabela 5). U tom smislu, izuzetak predstavlja lokalitet Sremska Mitrovica, koji ne prevazilazi kritične vrednosti za rast i razvoj biljaka (Tabela 5). Takođe, u odnosu na izmeren ukupan sadržaj Cr i Ni, zemljišta na lokalitetima donjeg dela rečnog toka (od Županje do Beograda), statistički se značajno razlikuju po sadržaju ovih elemenata od analiziranih zemljišta sa ostalih lokaliteta (Tabele 13 i 18).

Razlika između Cr i Ni se ogleda u njihovoj dostupnosti u analiziranim uzorcima zemljišta. Dobijeni rezultati su pokazali potpuno odusustvo dostupnog oblika Cr. Objasnjenje za ovu pojavu leži u činjenici da zemljišta generalno imaju veoma nizak sadržaj dostupnog Cr (Mehra & Farago 1994), zato što je više od 80% ukupnog Cr vezano u zemljištu (Kabata-Pendias & Mukherjee 2007; Kabata-Pendias 2011). Pored toga, ranija istraživanja pokazuju nisku rastvorljivost ovog elementa pri pH>4 i vezivanja za čestice zemljišta pri pH>5,5, što utiče na njegovu sorpciju u zemljištu i dostupnost biljkama (Fuentes et al. 2006; Walter et al. 2006; Alloway 2013). Sa druge strane, u uzorcima zemljišta sa analiziranih lokaliteta, izmerene su dostupne frakcije Ni u opsegu od 0,75-8,92% njegovog ukupnog sadržaja u zemljištu (Tabela 7). Na dostupnost i mobilnost Ni mogu da utiču sadržaj gline i organske materije u zemljištu, prisustvo i količina oksida Fe i Mn, kao i hemijska reakcija zemljišta (Alloway 1995; Adriano 2001; Kabata-Pendias & Mukherjee 2007). Ovaj element poseduje jak afinitet za vezivanje za okside Mn i Fe, a takođe gradi i jake veze sa organskom materijom, što može značajno da smanji njegovu mobilnost i dostupnost biljkama (Kabata-Pendias & Mukherjee 2007; Mrvić 2009). Prema Alloway (1995), oko 5% od ukupne količine Ni u zemljištu je vezano upravo za organsku materiju. Nikl je najdostupniji pri pH<6 (Alloway 1995; Kabata-Pendias 2011). S obzirom da su analizirana zemljišta alkalne reakcije, da sadrže nizak procenat organske materije, i imaju veoma nizak udeo kiselih izmenljivih katjona, odnosno nizak sadržaj jona Fe²⁺ i Mn²⁺ (ACE), dostupnost Ni je očekivano niska (Tabela 4).

Rezultati istraživanja predstavljeni u ovoj disertaciji su pokazali niži sadržaj Cr u poređenju sa istim u obalnim zemljištima reka Elbe i Leie, i viši u odnosu na isti u zemljištima duž evropskih reka Dunav i Scheldt, i reka Velika Morava i Kolubara na teritoriji Srbije. Isto tako, utvrđen je niži sadržaj Ni u ispitivanim zemljištima duž reke Save u poređenju sa istim duž Velike Morave i Kolubare, što je rezultat specifičnog geološkog supstrata na prostoru zapadne Srbije. Upravo, geološka podloga objašnjava prosečno veće sadržaje Ni u zemljištu obalne zone reke Save u odnosu na zemljišta duž reka Dunav, Elba, Guadiana, Scheldt i Leie. Međutim, izmereni sadržaji Cr i Ni u ispitivanim uzorcima zemljišta pokazuju niže vrednosti u odnosu na iste dobijene u ranijim istraživanjima Marković et al. (2018) (Tabela 127).

Arsen

Najvažniji prirodni izvor As u zemljištu je matična podloga, ali ovaj element može dospeti u zemljište i iz antropogenih izvora (Kabata-Pendias 2011). Prosečan sadržaj As u zemljištima na globalnom nivou je između 4,4 mg kg⁻¹ i 8,4 mg kg⁻¹, pri čemu su najviše vrednosti izmerene u zemljištima težeg mehaničkog sastava, a najniže u peskovitim zemljištima (Kabata-Pendias 2011). Prirodni fon As u evropskim zemljištima nije utvrđen (Gawlik & Bidoglio 2006), dok je studija Marković et al. (2018) pokazala da je prirodni fon As u zemljištima na istraživanom području 11,53 mg kg⁻¹. Kritičan sadržaj ovog elementa za rast i razvoj najvećeg broja vrsta biljaka je u opsegu 20-50 mg kg⁻¹ (Alloway 2013). Analizom zemljišta sa istraživanih lokaliteta, viši sadržaj As od proseka za svetska zemljišta je izmeren u Čatežu i Slavonskom Brodu na dubini 30-60 cm, kao i na lokalitetima u donjem toku reke Save (Županja, Sremska Mitrovica, Šabac i Beograd) na svim analiziranim dubinama zemljišta (Tabela 5). Takođe, utvrđen je sadržaj As viši od njegovog prirodnog fona u zemljištima istraživanog područja, na lokalitetima Županja (na dubinama 0-30 cm

i 30-60 cm), Sremska Mitrovica, Šabac, i Beograd (na svim analiziranim dubinama zemljišta) (Tabela 5). Potencijalno fitotoksičan sadržaj As $>20 \text{ mg kg}^{-1}$, izmeren je u zemljištima na lokalitetu Beograd u svim analiziranim dubinama (Tabela 5).

U zemljištima sa istraživanih lokaliteta, DTPA dostupan sadržaj As je izuzetno nizak, što ukazuje na njegovu nisku mobilnost (Tabele 6 i 7). To može biti rezultat blago alkalne reakcije zemljišta, ali i niskog sadržaja gline i organske materije (Mrvić 2009). Naime, As je najdostupniji u površinskom sloju analiziranih zemljišta, gde je i izmeren viši sadržaj organske materije u odnosu na dublje slojeve zemljišta. U alkalnim zemljištima peskovite strukture, As se lako ispira u dublje slojeve (Kabata-Pendias 2011; Alloway 2013), tako da je utvrđeno povećanje ukupnog sadržaja ovog elementa sa povećanjem dubine, što je u skladu sa fizičko-hemijskim karakteristikama analiziranih zemljišta (Tabele 3 i 5).

Prema dobijenim rezultatima, sadržaji As u obalnom zemljištu reke Save su značajno niži od istih u zemljištima duž reka Elbe (Schulz-Zinkel et al. 2013) i Guaidamar (Dominguez et al. 2016). Međutim, izmereni sadržaji ovog elementa su bili viši od istih izmerenih u zemljištima riparijalne zone Dunava (Pavlović et al. 2016), Velike Morave (Jakovljević et al. 1997) i Kolubare (Čakmak et al. 2018). Takođe, u poređenju sa ranijim istraživanjima obalnih zemljišta reke Save (Halamić et al. 2003; Pavlović et al. 2019), u zemljištima sa istraživanih lokaliteta je izmeren viši sadržaj As (Tabela 127).

Kadmijum

Procenjeno je da se na svetskom nivou sadržaj Cd u zemljištima najčešće nalazi između 0,37 i 0,45 mg kg^{-1} (Alloway 1995; Kabata-Pendias 2011). Prirodni fon Cd u zemljištima Evrope iznosi 1-3 mg kg^{-1} (Gawlik & Bidoglio 2006), dok prirodni fon za ovaj element za istraživano područje iznosi 0,68 mg kg^{-1} (Marković et al. 2018). Poljoprivredne aktivnosti, pre svega đubrenje zemljišta fosfatnim đubrivima, predstavljaju glavni antropogeni izvor Cd u zemljištima, a pored toga ovaj element u zemljište dospeva i kao nusprodukt vađenja rude Zn (Alloway 1995). Smatra se da je više od 2,5 mg kg^{-1} Cd u zemljištu kritično za rast većine biljaka (Alloway 2013). Prema dobijenim rezultatima, u analiziranim zemljištima na većini lokaliteta ukupni sadržaj Cd je bio ispod nivoa detekcije aparata, dok je izmeren u Sremskoj Mitrovici, Šapcu i Beogradu (Tabela 5). U Sremskoj Mitrovici i Šapcu sadržaj Cd je bio na nivou svetskog proseka za peskovita zemljišta (0,01-0,3 mg kg^{-1}), dok je u Beogradu bio viši od svetskog proseka. Takođe, sadržaj Cd u Beogradu premašuje njegov prirodni fon za istraživano područje, ali ne i prirodni fon za zemljišta Evrope (Gawlik & Bidoglio 2006). Dodatno, sadržaj Cd u zemljištu na svim analiziranim lokalitetima je ispod kritičnog opsega za biljke ($<2,5 \text{ mg kg}^{-1}$) (Alloway 2013).

Dostupna frakcija Cd je utvrđena samo u zemljištu na lokalitetu Beograd, i to u opsegu od 43,88-48,61% od njegove ukupne količine u zemljištu (Tabela 7). U uslovima $\text{pH}<5$, Cd se vezuje za čestice gline, sa povećanjem pH vezuje se za organsku materiju, dok se pri $\text{pH}>7$ vezuje za okside Al, Fe i Mn, i tada je najmanje mobilan (Alloway 1995; Mrvić 2009; Kabata-Pendias 2011). S obzirom na visok procenat dostupne frakcije Cd u Beogradu, ovaj element može predstavljati rizik za biljke koje rastu na ovom lokalitetu (Tabela 7).

Analiza sadržaja Cd u obalnom zemljištu reke Save pokazuje niže vrednosti u odnosu na iste u zemljištima obalnih zona velikih evropskih reka (Elba, Scheldt i Leie) (Letzens et al. 2011; Zimmer et al. 2011; Schulz-Zunkel et al. 2013), i više vrednosti u odnosu na Veliku Moravu (Jakovljević et al. 1997), dok su slični sadržaji Cd izmereni u obalnim zemljištima reka Dunav i Kolubara (Pavlović et al. 2016; Čakmak et al. 2018). U ranijim istraživanjima sprovedenim duž toka reke Save (Marković et al. 2018), kao i lokalno u zoni grada Zagreba (Vertačnik et al. 1995), izmerene su više vrednosti Cd u zemljištima, dok su sa druge strane, dobijene vrednosti bile niže od istih dobijenih u istraživanjima Halamić et al. (2003) i Pavlović et al. (2019).

Litijum

Najvažniji prirodni izvor Li je matična podloga, međutim ovaj elemenat može dospeti u životnu sredinu i iz antropogenih izvora (Christie et al. 1999; Kabata-Pendias 2011; Shahzad et al. 2016). Prosečan sadržaj Li u zemljištu je 13-28 mg kg⁻¹, pri čemu su najviše vrednosti izmerene u zemljištima težeg mehaničkog sastava, a najniže u peskovitim zemljištima (Kabata-Pendias 2011). Vrednosti izmerenog sadržaja Li u zemljištu na svim analiziranim lokalitetima, izuzev Mojstrane i Radovljice, prevazilaze prosečne vrednosti za svetska zemljišta (Tabela 5).

Međutim, dostupan sadržaj Li je izuzetno nizak što ukazuje na nisku mobilnost u analiziranim zemljištima (Tabele 6 i 7). To se može objasniti niskim sadržajem gline i organske materije, i u manjoj meri uticajem kapaciteta katjonske razmene i alkalne reakcije zemljišta (Kabata-Pendias & Mukherjee 2007; Mrvić 2009; Kabata-Pendias 2011; Shahzad et al. 2016). U obalnim zemljištima reke Save, dostupna frakcija Li prati trend povećanja udela gline u zemljištu, od izvora ka ušću reke Save (Tabele 3, 6 i 7). Međutim, imajući u vidu da frakcija gline u zemljištu nije visoka (do 27% u Beogradu), može se pretpostaviti da je upravo nizak procenat gline uzrok niske dostupnosti i mobilnosti Li u ispitivanim zemljištima (Tabela 3).

Olovo

Olovo je takođe jedan od elemenata za koji je teško utvrditi koji udeo je prirodnog, a koji antropogenog porekla (Alloway 1995; Adriano 2001; Kabata-Pendias & Mukherjee 2007). Razgradnja matične podloge je najvažniji prirodni izvor Pb, dok su najvažniji antropogeni izvori rudarstvo, topljenje i prerada ruda, i upotreba benzina sa visokim sadržajem Pb (Alloway 1995; Kabata-Pendias 2011). Sadržaj ovog elementa u zemljištu na globalnom nivou se kreće od 22-28 mg kg⁻¹ (Kabata-Pendias & Mukherjee 2007). Istraživanja Marković et al. (2018) ukazuju na nešto viši prirodni fon Pb u zemljištu istraživanog područja koji iznosi 44,03 mg kg⁻¹, dok se vrednosti prirodnog fona Pb u zemljištima Evrope kreću u širokom opsegu, od 50-300 mg kg⁻¹ (Gawlik & Bidoglio 2006). Sadržaj Pb iznad 100 mg kg⁻¹ u zemljištu smatra se toksičnim za biljke (Alloway 2013). Analizirana zemljišta sadrže od 10,74 mg kg⁻¹ do 87,12 mg kg⁻¹ Pb, tako da ne prelaze kritične vrednosti za rast i razvoj biljaka, kao ni vrednosti prirodnog fona ovog elementa u zemljištima Evrope. Ipak, vrednosti iznad prirodnog fona za istraživano područje (>44,03 mg kg⁻¹) su izmerene u zemljištima u Mojstrani (na dubini 0-10 cm), Radovljici, Sremskoj Mitrovici i Šapcu (na dubini od 30-60 cm), kao i na svim analiziranim dubinama zemljišta u Beogradu (Tabela 5). Takođe, sadržaj Pb iznad proseka za svetska zemljišta (>28 mg kg⁻¹), izmeren je u Mojstrani na dubini 0-10 cm, Radovljici na dubini od 30-60 cm, u Čatežu na dubinama 0-30 cm i 30-60 cm, kao i na svim analiziranim dubinama zemljišta u Sremskoj Mitrovici, Šapcu i Beogradu.

U uslovima alkalne reakcije zemljišta, Pb se vezuje za organsku materiju (Kabata-Pendias 2011). Stoga, na lokalitetu Mojstrana, gde zemljište sadrži najviši procenat organske materije, Pb je dostupno u najnižem procentu (5,79%; Tabela 7). Najviši procenat dostupnog Pb je izmeren u Radovljici (38,80%; Tabela 7), gde je istovremeno izmeren nizak sadržaj humusa, kao i visok sadržaj peska u zemljištu (Tabele 3 i 4). Zemljišta na lokalitetima gornjeg dela rečnog toka izuzev Mojstrane, sadrže viši procenat dostupnog Pb, u odnosu na zemljišta srednjeg i donjeg dela toka, što se objašnjava povećanjem udela praha i gline u mehaničkom sastavu zemljišta, kao i alkalnom reakcijom koja pospešuje vezivanje ovog elementa za pomenute granulometrijske frakcije zemljišta (Adriano et al 2004; Tabela 7).

Izmereni sadržaji Pb na ispitivanim lokalitetima su bili niži u poređenju sa istim izmerenim u obalnim zemljištima reka Elbe, Guadianar, Leie i Velike Morave, i viši u odnosu na sadržaje Pb izmerene duž Dunava i Kolubare (Tabela 127). Takođe, izmerene vrednosti Pb su bile niže od istih izmerenih u ranijim istraživanjima riparijalnih zemljišta reke Save, u periodu visokog vodostaja (Pavlović et al. 2019).

Stroncijum

Stroncijum se u prirodi može naći u sastavu silikatnih i vulkanskih stena (Kabata-Pendias 2011). Antropogeni izvori ovog elementa su prvenstveno sagorevanje uglja i eksploatacija sumpora (Kabata-Pendias 2011), kao i nuklearna testiranja (Chen et al. 2012). Sadržaj Sr u zemljištima na svetskom nivou se procenjuje između 87 mg kg^{-1} i 210 mg kg^{-1} (Kabata-Pendias & Mukherjee 2007). Analizirana zemljišta sadrže Sr u navedenom opsegu, sa maksimalnim sadržajem izmerenim u Zagrebu ($205,10 \text{ mg kg}^{-1}$), dok je u Mojstrani, kao i u Litiji na dubinama od 0-10 cm i 30-60 cm, sadržaj Sr u zemljištu bio niži od navedenog proseka, što ove lokalitete izdvaja od ostalih (Tabele 5 i 20). Sadržaj Ca u zemljištima u značajnoj meri određuje hemizam Sr, a odnos Ca: Sr manji od 8 u zemljištu ukazuje na toksičnost Sr (Kabata-Pendias 2011). Iako sadržaj Ca u zemljištu i biljkama nije bio predmet proučavanja ove disertacije, tokom određivanja sadržaja hemijskih elemenata u zemljištu određen je i sadržaj ovog elementa. Rezultati su pokazali da odnos Ca: Sr varira od 630 u Beogradu do 1730 u Litiji, odnosno mnogo je viši od 8, što pokazuje da nema rizika od toksičnosti ovog elementa u zemljištu.

U analiziranim zemljištima dostupna DTPA frakcija Sr varira od 0,58% do 5,42%, sa trendom povećanja od izvora ka ušću reke Save (Tabela 7). Dostupnost i mobilnost Sr u zemljištu su uslovljeni sadržajem gline i organske materije, koji imaju visoku sposobnost imobilizacije ovog elementa, i u manjoj meri sadržajem oksida Fe i Mn (Kabata-Pendias & Mukherjee 2007; Kabata-Pendias 2011). Takođe, u karbonatnim zemljištima, Sr može da formira SrCO_3 , i tako postaje manje mobilan (Kabata-Pendias & Mukherjee 2007). Može se pretpostaviti da je upravo geološka podloga faktor koji je najviše uticao na dostupnost Sr u analiziranim zemljištima, jer je Sr manje dostupan u zemljištima uzorkovanim na lokalitetima gornjeg dela toka, najverovatnije usled njegovog vezivanja za karbonate, što pokazuje Ca: Sr odnos (Tabele 6 i 7).

Dodatno, treba istaći da su ovim analizama potvrđeni raniji nalazi o povišenom sadržaju Sr u obalnim zemljištima reke Save u zoni grada Zagreba ($>200 \text{ mg kg}^{-1}$; Vertačnik et al. 1995).

5.4. Sadržaj potencijalno toksičnih elemenata (PTE) u odabranim drvenastim vrstama i njihov potencijal za akumulaciju PTE u korenu i listovima kao i potencijal za bioindikaciju i biomonitoring zagađenja obalne zone reke Save

Biljke usvajaju esencijalne i potencijalno toksične hemijske elemente iz zemljišta, koje putem korenova dalje transportuju u listove, kao i iz vazduha putem atmosferske depozicije. Usvajanje ovih elemenata od strane biljaka je uslovljeno fizičko-hemijskim karakteristikama zemljišta, ali i specifičnim morfo-fiziološkim karakteristikama biljaka, pre svega građom korenova i listova i mehanizmima usvajanja i akumulacije koji su specifični za vrstu (Pavlović et al. 2004; Mitrović et al. 2008; Gajić et al. 2009; Kostić 2014; Pavlović et al. 2017c). Takođe, biljke se koriste u indikaciji i monitoringu sadržaja ovih elemenata na staništima da bi se identifikovala prostorna i vremenska distribucija polutanata. Adaptacije biljaka na povećan sadržaj PTE su različite, dok jedne akumuliraju toksične elemente na nivou korena, druge ih transportuju u nadzemne delove (translokacija), pre svega listove i tamo ih akumuliraju (Baker 1981; Markert et al. 2003; Madejón et al. 2004, 2006; Gajić et al. 2020).

Jedna od prednosti korišćenja izmerenih sadržaja PTE u korenovima i listovima biljaka za biomonitoring nivoa kontaminacije u zemljištima na kojima rastu je posredno dobijanje informacija o njihovom ukupnom sadržaju, kao i njihovoj dostupnosti u zemljištu (Markert 2003; Madejón et al. 2006, 2017; Pecina et al. 2020). Određene vrste biljaka mogu akumulirati u svojim nadzemnim delovima višestruko veće sadržaje elemenata od njihovih nivoa u zemljišnom rastvoru. Na taj način, biljke mogu poslužiti i u detekciji veoma niskih sadržaja PTE u zemljištu, koje nije uvek jednostavno utvrditi merenjem ukupnog sadržaja, a ponekad ni hemijskim metodama ekstrakcije elemenata (Baker et al. 2000; Ma et al. 2001; Madejón et al. 2004, 2017). Uprkos brojnim ograničenjima u korišćenju biljaka u bioindikaciji zagađenja zemljišta, one imaju značajnu prednost u odnosu na hemijske analize kvaliteta zemljišta, posebno kada se istraživanja odvijaju na velikim prostornim skalama (Madejón et al. 2006). Naime, upotreba drvenastih biljaka kao pasivnih uzoraka u indikaciji i monitoringu zagađenja omogućava visoku prostornu i vremensku rezoluciju zbog dostupnosti biljaka i niskih troškova uzorkovanja za analize (Markert 2003; Madejón et al. 2004; Sawidis et al. 2011). Stoga je testiranje nivoa zagađenja zemljišta korišćenjem biljaka postalo naučno validna metoda za monitoring zagađivanja (Sorek et al. 2008; Algreen et al. 2014). Pozitivne korelacije između sadržaja pojedinih PTE u zemljištu i biljkama ukazuju na potencijal biljaka za indikaciju i monitoring zagađivanja zemljišta (Madejón et al. 2004; Pavlović et al. 2016; Alexandrino et al. 2020). Međutim, korelisanost sadržaja PTE u zemljištu i biljkama nije uvek jednostavna i linearna usled fizičko-hemijskih osobina zemljišta i specifičnosti pojedinih biljnih vrsta (Ernst 1996; Liu et al. 2008; Gajić 2014; Pavlović et al. 2017c; Bañuelos 2020). Prednost drvenastih vrsta biljaka u fitoremedijaciji u odnosu na ostale biljke se ogleda u velikoj podzemnoj i nadzemnoj biomasi i brzom rastu (Pulford & Watson 2003; Madejón et al. 2004, 2006; Sebastiani et al. 2004; Mertens et al. 2005).

Do sada je veliki broj drvenastih vrsta testiran u svrhu indikacije i monitoringa zagađenja zemljišta, pri čemu su najčešće analizirani listovi kao najdostupniji materijal za analizu. Među njima su vrste rodova *Populus* (*P. alba*, *P. nigra*) i *Salix* (*S. alba*, *S. cinerea*, *S. fragilis*) korišćene za indikaciju i monitoring Cd, Cu, Mn, Ni i Zn (Vandecasteele et al. 2002; Madejón et al. 2004, 2017; Algreen et al. 2014; Pavlović et al. 2016; Mataruga et al. 2020a), dok su vrste *Acer platanoides*, *Aesculus hippocastanum*, *Betula pendula*, *Cotoneaster lucidus*, *Eucalyptus camaldulensis*, *Ficus religiosa* i *Mimusops elengi* korišćene za indikaciju i monitoring Al, Ba, Cd, Cu, Mn i Zn (Gorelova & Frontasyeva 2017; Madejón et al. 2017; Pavlović et al. 2017d; Molnár et al. 2020).

Dosadašnja istraživanja su pokazala toleranciju vrsta rodova *Salix* i *Populus* na zagađivanje PTE, zbog čega se često preporučuju za fitostabilizaciju i/ili fitoekstrakciju pojedinih potencijalno toksičnih elemenata u kontaminiranim zemljištima širom sveta (Pilon-Smiths et al. 1998; Mertens et

al. 2004; Laureysens et al. 2005; Wu et al. 2010; Gaudet et al. 2011; Bhargava et al. 2012; Chen et al. 2014; Pavlović et al. 2016). Vrste roda *Ulmus* su do sada proučavane uglavnom sa aspekta potencijala za akumulaciju As (Budzyńska et al. 2017). Pored toga, proučavan je i potencijal vrste *U. glabra* za akumulaciju Zn, Pb i Cd u listovima u zoni industrijskih postrojenja u Velikoj Britaniji (Little & Martin 1972; Little 1973), ali nije testirana potencijalna uloga ove vrste u bioindikaciji i/ili fitoremedijaciji zagađenih zemljišta. Sa druge strane, *J. regia* se često javlja i kao gajena komercijalna biljka, te je veliki broj studija fokusiran na merenje nivoa PTE u plodovima ove vrste (Arpadjan et al. 2013; Tošić et al. 2014; Feizi & Jalali 2015). Međutim nedostaju istraživanja potencijala *J. regia* za bioindikaciju i biomonitoring zagađenja zemljišta.

U ovim istraživanjima, za analizu i procenu potencijala drvenastih vrsta *Salix alba*, *Populus nigra*, *Populus alba*, *Ulmus glabra* i *Juglans regia*, za usvajanje i akumulaciju Al, As, B, Cd, Cr, Cu, Fe, Li, Mn, Ni, Pb, Se, Sr i Zn korišćene su referentne vrednosti koje određuju opsege deficita, optimuma ili toksičnosti za biljke za svaki od ispitivanih elemenata (Alloway 1995; Kabata-Pendias 2011). Za analizu i procenu potencijala ispitivanih vrsta za bioindikaciju i biomonitoring zagađivanja korelisani su sadržaji PTE u zemljištu i biljnom materijalu (koren i list). Takođe, za analizu i procenu potencijala ispitivanih vrsta za fitoremedijaciju zemljišta zagađenih ovim elementima korišćeni su biokoncentracioni (BCF) i translokacioni (TF) faktori (Yoon et al. 2006).

Na prirodnim, kao i na antropogeno izmenjenim staništima usled povećanog sadržaja PTE, biljke razvijaju adaptacije usmerene na toleranciju toksičnih efekata ovih elemenata u zemljištu, zasnovane na akumulaciji (biljke akumulatori) i isključivanju (biljke ekskluderi) (Baker et al. 2000). Prva grupa biljaka ima kapacitet za usvajanje i akumulaciju elemenata u svojim listovima koje premašuju njihove sadržaje u zemljištu i korenu ($BCF > 1$, $TF > 1$; Ernst, 2006) i one su značajne za procese fitoremedijacije zagađenih zemljišta (fitoekstrakcija). Druga grupa, biljke ekskluderi su vrste koje tolerišu toksične sadržaje elemenata u zemljištu tako što usvajaju niske sadržaje PTE, kroz aktivno isključivanje na nivou korena, odnosno imobilizacijom elemenata u zoni rizosfere lučenjem eksudata korena i skladištenjem usvojenih elemenata u ćelijskim zidovima i vakuolama ćelija korena. Kod ove grupe biljaka, BCF u korenu može biti veći ili manji od 1, ali TF mora uvek biti manji od 1 (Baker & Walker 1990; Pulford & Watson 2003). Biljke tolerantne na zagađenje, usvajaju i transportuju niske sadržaje PTE u odnosu na njihov ukupan sadržaj u zemljištu ($BCF < 1$, $TF < 1$; Fitz & Wenzel 2002; Liu et al. 2004).

5.4.1. *Salix alba*

U ovim istraživanjima, vrsta *Salix alba* je pokazala značajan potencijal za akumulaciju As, Cd, Cr, Fe, Li, Ni, Se, Sr i Zn u sadržajima koji se nalaze u opsegu koji se smatra toksičnim za biljke. Rezultati merenja sadržaja navedenih elemenata u korenu ove vrste su pokazali sledeće: sadržaj As $> 5 \text{ mg kg}^{-1}$ izmeren u Sremskoj Mitrovici, Šapcu i Beogradu; sadržaj Cr $> 5 \text{ mg kg}^{-1}$ izmeren u Županji, Sremskoj Mitrovici, Šapcu i Beogradu; sadržaj Li $> 5 \text{ mg kg}^{-1}$ u Litiji, Slavonskom Brodu, Županji, Sremskoj Mitrovici, Šapcu i Beogradu; zatim Ni $> 10 \text{ mg kg}^{-1}$ izmeren u Županji, Sremskoj Mitrovici i Šapcu, i Zn $> 100 \text{ mg kg}^{-1}$ u Šapcu i Beogradu (Tabela 22; Alloway 1995, 2013; Kabata-Pendias 2011). Takođe, ova vrsta je u korenu akumulirala Cd, Fe i Sr u koncentracijama iznad referentnog toksičnog opsega (Kabata-Pendias 2011) na lokalitetima u različitim delovima reke i to: Cd $> 30 \text{ mg kg}^{-1}$, u Beogradu; Fe $> 300 \text{ mg kg}^{-1}$, na lokalitetima od Litije do Beograda; i Sr $> 30 \text{ mg kg}^{-1}$, u Vrhovu, Čatežu, Županji, Sremskoj Mitrovici, Šapcu i Beogradu (Tabela 22; Alloway 1995, 2013; Kabata-Pendias 2011).

Salix alba je u listovima usvojila As, Cd, Cr, Li, Ni, Se i Zn u koncentracijama koje se nalaze u opsegu toksičnih za biljke. Na pojedinim lokalitetima su izmereni toksični sadržaji sledećih elemenata: As i Cr $> 5 \text{ mg kg}^{-1}$ u Šapcu; Cd $> 5 \text{ mg kg}^{-1}$ u Čatežu, Li $> 5 \text{ mg kg}^{-1}$ na svim lokalitetima izuzev u Radovljici, Sremskoj Mitrovici i Beogradu, zatim Se $> 5 \text{ mg kg}^{-1}$, na svim lokalitetima izuzev u Čatežu; Ni $> 10 \text{ mg kg}^{-1}$, u Šapcu i Zn $> 100 \text{ mg kg}^{-1}$ na svim lokalitetima izuzev u Litiji i Zagrebu. (Tabela 23). Isto tako, ova vrsta je u listovima akumulirala koncentracije

iznad toksičnog opsega i to za: B ($>100 \text{ mg kg}^{-1}$) u Šapcu, zatim Fe ($>300 \text{ mg kg}^{-1}$) u Slavonskom Brodu, Županji i Šapcu; i Sr ($>30 \text{ mg kg}^{-1}$) na svim istraživanim lokalitetima (Tabela 23; Kabata-Pendias 2011). Ovi rezultati posredno ukazuju na tačkaste izvore zagađenja na pojedinim lokalitetima duž rečnog toka (Milačić et al. 2015).

Na lokalitetima pretežno u gornjem delu rečnog toka izmereni su niski sadržaji esencijalnih elemenata, u opsegu deficita za biljke, i to B, Cu, Mn i Zn u korenu i Cu, Fe i Mn u listovima *S. alba*. U korenu je izmeren nizak sadržaj sledećih elemenata: B $<10 \text{ mg kg}^{-1}$, u Mojstrani, Vrhovu, Zagrebu i Jasenovcu; Cu $<5 \text{ mg kg}^{-1}$ u Mojstrani i Radovljici; Fe $<50 \text{ mg kg}^{-1}$ u Mojstrani; Mn $<30 \text{ mg kg}^{-1}$ u Mojstrani, Radovljici, Vrhovu, Čatežu i Zagrebu; i Zn $<20 \text{ mg kg}^{-1}$ u Radovljici (Tabela 22; Kabata-Pendias 2011). S obzirom da je veoma uska granica između deficita, normalnog nivoa i nivoa toksičnosti B u biljkama (Alloway 1995; Kostić 2014), u ovom slučaju je za nivo deficita uzeta vrednost $<10 \text{ mg kg}^{-1}$, dok se toksičnim smatra sadržaj preko 100 mg kg^{-1} . Deficit esencijalnih elemenata u listovima je izmeren na lokalitetima pretežno u gornjem toku reke i to: Cu ($<5 \text{ mg kg}^{-1}$) u Mojstrani, Fe ($<50 \text{ mg kg}^{-1}$) u Mojstrani, i Mn ($<30 \text{ mg kg}^{-1}$) u Mojstrani, Radovljici, Litiji i Zagrebu (Tabela 23). Deficit esencijalnih elemenata u korenu i listovima *S. alba* je očekivan, s obzirom da su zemljišta na lokalitetima od Mojstrane do Jasenovca alkalne reakcije, sa malim procentom organske materije i visokim udelom peska, od 58,5% do 80,8% (Tabele 3 i 4; Adriano 2001). Smanjeno usvajanje Cu i Fe u listovima na lokalitetu Mojstrana može biti uslovljeno i antagonističkim reakcijama ovih elemenata sa Zn, jer je u isto vreme *S. alba* akumulirala toksičan nivo Zn u listovima na ovom lokalitetu (Tabela 23; Kabata-Pendias 2011). Niža akumulacija Mn u listovima *S. alba*, isto tako može biti uslovljena antagonizmom ovog elementa sa Se (Kabata-Pendias 2011). Naime, ova vrsta je na lokalitetima Mojstrana, Radovljica, Litija i Zagreb akumulirala Se u koncentracijama koje se nalaze u toksičnom opsegu, usled čega je verovatno došlo do slabijeg usvajanja i akumulacije Mn u listovima ove vrste na navedenim lokalitetima (Tabela 23).

Rezultati merenja sadržaja PTE u biljnom materijalu vrste *S. alba* u obalnoj zoni reke Save, pokazuju da ova vrsta ima veliki afinitet za usvajanje i akumulaciju pojedinih PTE iz zemljišta. To potvrđuju istraživanja ove, ali i drugih vrsta roda *Salix* iz riparijalne zone drugih velikih evropskih reka. Naime, *S. alba* je pokazala sposobnost za akumulaciju toksičnih sadržaja Cd (Meers et al. 2007; Vysloužilová et al. 2003; Zacchini et al. 2011) i Zn u listovima (Meers et al. 2007; Pavlović et al. 2016; Vandecasteele et al. 2002), dok su druge vrste ovog roda, poput *S. fragilis* i *S. viminalis* pokazale kapacitet za akumulaciju toksičnih sadržaja Cr, Cu i Zn (Vandecasteele et al. 2005; Pavlović et al. 2016), kao i *S. alba pyramidalis* za akumulaciju ekstremno visokih sadržaja Zn (Vysloužilová et al. 2003). Takođe, neke druge vrste roda *Salix* su pokazale sposobnost da akumuliraju visoke sadržaje Se u listovima, poput *S. babylonica* i *S. matsudana* × *S. alba* (Yu & Gu 2008), i Cr u listovima i korenu poput *S. babylonica* i *S. matsudana* (Yu et al. 2008) (Tabela 128). Kao što je već pomenuto, visok sadržaj pojedinih PTE izmeren u korenu i listovima *S. alba* u riparijalnoj zoni reke Save, može biti rezultat njihovih povišenih koncentracija (u opsegu ili iznad opsega toksičnih koncentracija) u zemljištu na pojedinim lokalitetima, što je potvrđeno i rezultatima korelacione analize. Naime, utvrđene su značajne pozitivne korelacije između sadržaja svih analiziranih elemenata u zemljištu sa istim u korenu, sa izuzetkom Sr, kao i korelacije između sadržaja Al, As, B, Cr, Cu, Mn, Ni, Sr i Zn u zemljištu i listovima ove vrste (Tabela 107). Ovi rezultati ukazuju na potencijal *S. alba* za indikaciju i monitoring zagađenja obalnih zemljišta reke Save navedenim PTE.

Salix alba je u obalnoj zoni evropskih reka pokazala generalno sličan sadržaj ispitivanih elemenata u korenu i listovima sa istim u obalnoj zoni reke Dunav (Pavlović et al. 2016). Sličan nivo As, Cu, Ni i Pb, ali i značajno viši nivo Cd i Zn je izmeren u listovima jednog od klonova roda *Salix* spp. u riparijalnoj zoni reke Elbe (Zimmer et al. 2012), što se dovodi u vezu sa većim sadržajima ovih elemenata u obalnim zemljištima ove reke (Tabela 128). Takođe, sličan sadržaj Cd i manji sadržaj Zn je izmeren u korenu i listovima ispitivane vrste u poređenju sa istim na odlagalištima zagađenog sedimenta duž reka Scheldt i Leie u Belgiji (Vandecasteele et al. 2002; Tabela 128). Isto tako, izmeren je i sličan sadržaj Cu, Ni i Pb i niži sadržaj Cd i Zn u listovima

različitih klonova roda *Salix* na odlagalištima zagađenog sedimenta duž reke Leie u Belgiji (Meers et al. 2003) (Tabela 128). Razlike u kapacitetu vrsta roda *Salix* za akumulaciju navedenih elemenata u korenu i listovima mogu biti rezultat razlika u sadržaju ovih elemenata u riparijalnim zemljištima, kao i karakteristika ispitivanih vrsta i njihovih klonova.

Prethodna istraživanja ukazuju na potencijal vrste *S. alba* za fitoekstrakciju Cd (od čak 4082 mg kg⁻¹ u korenu i 367 mg kg⁻¹ u listovima, Zacchini et al. 2011) i Zn (od čak 2882 mg kg⁻¹ u listovima, Meers et al. 2007), kao i B, Se i Sr iz zagađenih riparijalnih zemljišta (von Fircks et al. 2002; Yu & Gu 2008; Yıldırım & Kasim 2018). Isto tako, kod drugih vrsta ovog roda utvrđen je potencijal za akumulaciju Cr u korenu (Vandecasteele et al. 2005; Yu et al. 2008). Takođe, u jednoj od eksperimentalnih studija je pokazano da ukoliko se u zemljište dodaju Cd i Zn, *S. alba* će akumulirati veći sadržaj ovih elemenata u listovima (Vysloužilová et al. 2003; Tabela 128).

Kod vrste *S. alba*, na analiziranim lokalitetima, utvrđen je BCF<1 za sve elemente, izuzev za As (u Radovljici), Cd (u Sremskoj Mitrovici, Šapcu i Beogradu) i Zn (u Zagrebu i Beogradu) (Tabela 109). Takođe, izračunat je TF>1 za B, Se i Sr na svim lokalitetima; za Zn na svim lokalitetima osim u Beogradu; za Cd na lokalitetima od Mojstrane do Zagreba; za Al u Litiji, Slavanskom Brodu i Šapcu; za As u Mojstrani; za Cr, Li i Fe u Šapcu; za Mn u Mojstrani, Radovljici, Vrhovu, Čatežu, Jasenovcu, Šapcu i Beogradu; i za Ni u Jasenovcu i Šapcu (Tabela 110). Generalno, kod ove vrste, sadržaj B u listovima je višestruko veći nego u korenu, što je rezultat visoke mobilnosti ovog elementa (Szabó 1988; Brown & Shelp 1997; Reid et al. 2004). Na to ukazuju i vrednosti BCF<1 i TF>1, međutim alkalna reakcija zemljišta duž reke Save inhibira usvajanje ovog elementa u visokim koncentracijama (Kabata-Pendias & Pendias 2001), pa se na pojedinim lokalitetima B kao esencijalni element nalazi u opsegu deficita u korenu. *Salix alba* je akumulirala toksične koncentracije As, Cr i Ni u korenu na većini lokaliteta u donjem toku reke, ali BCF<1 ukazuje da ova vrsta generalno nije akumulator ovih elemenata. Takođe, dobijeni rezultati pokazuju da *S. alba* generalno usvaja pojedine esencijalne elemente (Cu, Mn i Zn) i akumulira ih u listovima (TF>1) na većini lokaliteta. Korelacije između sadržaja Cd u korenu i listovima, i u zemljištu, pokazuju da *S. alba* u uslovima nižeg sadržaja Cd u zemljištu, transportuje ovaj element u listove, dok na lokalitetima gde je nivo Cd u zemljištu viši on se zadržava na nivou korena (Tabele 5, 22, 23 i 107). Iako *S. alba* akumulira toksične sadržaje Li u korenu i listovima, vrednosti BCF i TF su manje od 1 na svim lokalitetima, izuzev na lokalitetu Šabac gde je TF >1 (Tabele 109 i 110), te su potrebna dodatna istraživanja kako bi se utvrdio potencijal ove vrste za akumulaciju Li.

Tabela 128. Sadržaj PTE u listovima i korenu *Salix alba* sa istim utvrđenim u ranijim istraživanjima različitih vrsta roda *Salix*

Vrsta	Koren/list	As (mg kg ⁻¹)	B (mg kg ⁻¹)	Cd (mg kg ⁻¹)	Cr (mg kg ⁻¹)	Cu (mg kg ⁻¹)	Ni (mg kg ⁻¹)	Pb (mg kg ⁻¹)	Se (mg kg ⁻¹)	Zn (mg kg ⁻¹)	Referenca
<i>S. alba</i>	koren	0,00-6,42	6,97-21,22	0,22-86,96	0,00-14,57	2,28-26,46	0,00-19,08	1,33-10,48	0,00-4,92	18,35-278,18	Rezultati dobijeni u ovoj disertaciji (Tabele 22 i 23)
	listovi	0,00-6,31	36,97-104,84	0,22-5,13	0,00-11,48	4,92-11,34	0,00-13,26	0,00-8,34	4,55-6,44	44,41-308,03	
<i>S. viminalis</i>	listovi	/	/	3,6-6,3	/	/	/	/	/	385-2695	Hammer et al. 2003
	koren	/	/	1,5-3,6	/	/	/	/	/	70-570	
<i>S. alba</i> klonovi	listovi	/	/	7,1 - 103	0 - 10,3	5,3 - 16	0,6 - 3,8	3,6 - 18,4	/	250 - 2882	Meers et al. 2007
<i>S. alba</i> klonovi	listovi	/	/	7,4 - 9,5	0,2 - 0,3	10,7 - 11,6	1 - 1,1	0,4 - 0,6	/	479 - 686	Meers et al. 2003
<i>S. alba</i>	listovi	0,2-2,1	/	0,0007-1,5	0,002	3,4-39,4	0,002-5,1	0,01-8,5	/	32,5-336,8	Pavlović et al. 2016
<i>S. fragilis</i>	listovi	1,6-2,7	/	0,4-7,9	0,002-3,8	10,9-12,7	0,002-2,7	0,01-6,9	/	173,2-715,9	
<i>S. viminalis</i>	listovi	1,9	/	0,4	0,002	6,2	0,002	0,01	/	206,2	
<i>S. caprea</i>	listovi	2,1	/	0,09	0,002	6,6	0,002	0,01	/	47,5	
<i>S. purpurea</i>	listovi	0,02-1,7	/	0,3-1,1	0,002	7,1-9,3	0,002	0,01-0,8	/	67,5-201,7	
<i>S. daphnoides</i>	listovi	1,5	/	0,9	0,002	6,5	0,002	1,9	/	104,2	
<i>Salix</i> sp. klonovi	koren	/	/	<100	/	300-1200	/	/	/	/	
	listovi	/	/	<100	/	25-100	/	/	/	>600	
<i>S. alba</i>	listovi	/	/	0,3-4,5	/	/	/	/	/	89-628	Vandecasteele et al. 2002
<i>S. viminalis</i>	listovi	/	/	0,5-3,8	/	/	/	/	/	80-259	
<i>S. caprea</i>	listovi	/	/	1-3,9	/	/	/	/	/	116-374	
<i>S. cinerea</i>	listovi	/	/	0,7-1,1	/	/	/	/	/	150-334	
<i>S. fragilis</i> klon “Belgisch Rood”	listovi	/	/	/	5,4	11,1	6	3,5	/	/	Vandecasteele et al. 2005
	koren	/	/	/	31,7	157,5	9,5	11,5	/	/	
<i>S. viminalis</i> klon “Aage”	listovi	/	/	/	2,1	10,1	2,5	1,1	/	/	
	koren	/	/	/	50,5	170,3	9,1	13,4	/	/	
<i>S. alba</i>	listovi	0,561-4,62	/	0,929-55,1	/	/	/	0,871-6,86	/	37,7-1581	Vysloužilová et al. 2003
<i>S. alba pyramidalis</i>	listovi	0,333-0,67	/	1,94-63,1	/	/	/	0,897-26,8	/	138-2221	
<i>S. anatolica</i>	listovi	/	450	/	/	/	/	/	/	/	Yıldırım & Kasım 2018
	koren	/	215	/	/	/	/	/	/	/	
<i>S. babylonica</i>	listovi	/	/	/	/	/	/	/	115,9	/	Yu & Gu 2008
	koren	/	/	/	/	/	/	/	767,7	/	
<i>S. matsudana</i> × <i>S. alba</i>	listovi	/	/	/	/	/	/	/	77,33	/	Yu et al. 2008
	koren	/	/	/	/	/	/	/	1638	/	
<i>S. matsudana</i>	koren	/	/	/	68,01-297,99	/	/	/	/	/	Yu et al. 2008
	list	/	/	/	0-5,02	/	/	/	/	/	
<i>S. babylonica</i>	koren	/	/	/	38,93-133	/	/	/	/	/	Yu et al. 2008
	list	/	/	/	0-3,62	/	/	/	/	/	
<i>S. alba</i>	koren	/	/	4082	/	/	/	/	/	/	Zacchini et al. 2011
	listovi	/	/	367	/	/	/	/	/	/	
<i>Salix</i> sp.	listovi	0,18-0,33	/	14-22	/	5,4-9,6	1,9-41	0,04-0,28	/	1139-1844	Zimmer et al. 2012

5.4.2. *Populus nigra*

Vrsta *P. nigra* je takođe pokazala značajan potencijal za akumulaciju As, Cr, Li, Fe i Sr u korenu, i B, Sr i Zn u listovima u opsegu sadržaja toksičnih za biljke. Rezultati akumulacije PTE u korenu su pokazali sledeće: As $>5 \text{ mg kg}^{-1}$ je izmeren u Vrhovu i Čatežu; Cr $>5 \text{ mg kg}^{-1}$ u Mojstrani i Šapcu; i Li $>5 \text{ mg kg}^{-1}$ u Jasenovcu, Sremskoj Mitrovici, Šapcu i Beogradu (Tabela 39; Alloway 1995; Kabata-Pendias 2011). Takođe, ova vrsta je u korenu akumulirala Fe i Sr u koncentracijama iznad referentnog toksičnog opsega (Kabata-Pendias 2011) na sledećim lokalitetima: Fe $>300 \text{ mg kg}^{-1}$, na svim lokalitetima izuzev Čateža; i Sr $>30 \text{ mg kg}^{-1}$ u Zagrebu, Jasenovcu, Sremskoj Mitrovici, Šapcu i Beogradu (Tabela 39; Alloway 1995; Kabata-Pendias 2011). U listovima je ova vrsta akumulirala Zn u koncentracijama koje se nalaze u opsegu toksičnom za biljke, u Čatežu, Zagrebu i Šapcu (Tabela 40; Kabata-Pendias 2011). Sadržaji B ($>100 \text{ mg kg}^{-1}$) u uzorcima u Sremskoj Mitrovici i Sr ($>30 \text{ mg kg}^{-1}$) na svim istraživanim lokalitetima su bili iznad referentnog toksičnog opsega (Tabela 40; Alloway 1995; Kabata-Pendias 2011). Ovi rezultati isto tako ukazuju na tačkaste izvore zagađenja na pojedinim lokalitetima duž rečnog toka (Milačić et al. 2015).

I kod *P. nigra* je utvrđen deficit esencijalnih elemenata u korenu i to: B $<10 \text{ mg kg}^{-1}$, na svim istraživanim lokalitetima; Cu $<5 \text{ mg kg}^{-1}$, u Čatežu; zatim Mn $<30 \text{ mg kg}^{-1}$, na lokalitetima Mojstrana, Vrhovo, Čatež i Zagreb; i Zn $<20 \text{ mg kg}^{-1}$, u Mojstrani i Vrhovu (Tabela 39). I u ovom slučaju, deficit je uslovljen alkalnom reakcijom zemljišta, visokim udelom peska i niskim sadržajem organske materije (Tabele 3 i 4; Mehra & Farago 1994; Adriano 2001; Kabata-Pendias 2011). Dodatno, deficit Mn može biti rezultat antagonističkih interakcija ovog elementa sa As i Cr na nivou korena (Kabata-Pendias 2011). Naime, As i Cr su akumulirani u korenu *P. nigra* u toksičnim nivoima upravo na lokalitetima gde je utvrđen deficit Mn (Tabela 39). Deficit Cu se takođe može javiti i kao rezultat akumulacije toksičnih nivoa As (Tang & Miller 1991). Isto tako, dobijeni rezultati pokazuju da su na lokalitetima gde nije detektovano prisustvo As u korenu, akumulirani optimalni sadržaji Zn, dok su na lokalitetima gde je As usvojen u toksičnim nivoima izmerene niske koncentracije ovog elementa. Ovakva pojava je verovatno rezultat antagonističkih odnosa između navedenih elemenata (Kabata-Pendias 2011). Sa druge strane, u listovima *P. nigra* je izmeren deficit esencijalnih elemenata i to: Cu ($<5 \text{ mg kg}^{-1}$) u Čatežu, Zagrebu, Sremskoj Mitrovici i Beogradu; zatim Fe ($<50 \text{ mg kg}^{-1}$) u Mojstrani, Zagrebu, Županji, Sremskoj Mitrovici, Šapcu i Beogradu; potom Mn ($<30 \text{ mg kg}^{-1}$) u Mojstrani, Čatežu, Zagrebu i Beogradu; i Zn ($<20 \text{ mg kg}^{-1}$) u Sremskoj Mitrovici (Tabela 40; Kabata-Pendias 2011). Deficit Cu na lokalitetima Čatež i Zagreb, može da bude rezultat antagonističkih interakcija sa Zn, s obzirom da je na ovim lokalitetima Zn akumuliran u toksičnom opsegu (Kabata-Pendias 2011). Pored toga, usvajanje Cu je često inhibirano visokim pH vrednostima, često uslovljenim relativno visokim procentom karbonata u zemljištu (Tabela 4; Streit & Stumm 1993; Mehra & Farago 1994). Slično tome, akumulacija Fe i Mn je uslovljena lokalnim fizičko-hemijskim karakteristikama zemljišta, kao i antagonizmom sa Zn.

Rezultati merenja sadržaja PTE u biljnom materijalu *P. nigra* u obalnoj zoni reke Save pokazuju da ova vrsta ima veliki afinitet za usvajanje i akumulaciju pojedinih PTE iz zemljišta i da se to može smatrati specifičnim za vrstu, s obzirom na različit stepen zagađenja na ovim staništima. Statistički značajne pozitivne korelacije između sadržaja B, Fe, Li, Mn, Ni i Pb u zemljištu i korenu *P. nigra*, i između sadržaja As, Mn i Ni u zemljištu i listovima ove vrste, ukazuju na mogućnost njene upotrebe u bioindikaciji i monitoringu zagađenja obalnih zemljišta reke Save ovim elementima (Tabela 115).

Kada se uporede izmereni sadržaji Cd, Cr, Cu, Ni, Pb i Zn u korenu *P. nigra* u obalnom zemljištu reke Save sa istim na drugim lokalitetima na području Evrope, uočava se da su slične vrednosti ovih elemenata izmerene na nezagađenim staništima u blizini grada Kórník (Poljska), ali i niže od istih izmerenih u korenu ove vrste u oblastima zagađenim Cu u blizini grada Głogów (Poljska) (Stobrawa & Lorenc-Plucińska 2007). Takođe, sličan nivo Cu u listovima je izmeren i u oblasti sa aktivnim termoelektranama u Grčkoj (Sawidis et al. 2002) (Tabela 129), dok su

eksperimentalna istraživanja pokazala potencijal ove vrste za akumulaciju Cd (od čak 9735 mg kg⁻¹, Zacchini et al. 2011) i Pb u korenu (Radojčić Redovniković et al. 2017) (Tabela 129).

Potencijal vrste *P. nigra* za usvajanje i akumulaciju PTE iz zemljišta u obalnim zonama drugih evropskih reka je veoma sličan na različitim tipovima zagađenih zemljišta u različitim urbanim i industrijskim zonama. Na primer, slične su koncentracije As, Cu, Pb, Sr i Zn u listovima ove vrste izmerene u našim istraživanjima i u uzorcima *P. nigra* var. '*Italica*' Koehne u blizini metalurških i hemijskih postrojenja u Bugarskoj (Djingova et al. 1999), zatim u blizini termoelektrana u Grčkoj (Tabela 129; Sawidis et al. 2002), u industrijskim, urbanim i prigradskim oblastima u Turskoj (Baslar et al. 2005), kao i kod klonova *Populus* sp. na oglednim površinama u blizini grada Salerno (Italija) (Tabela 129; Baldantoni et al. 2014). Dobijeni rezultati ukazuju na potencijal za akumulaciju Sr u toksičnim koncentracijama na ispitivanim lokalitetima, što je u skladu sa rezultatima istraživanja sprovedenim u Pavlodar regionu u Kazahstanu, gde je u listovima ove vrste izmereno čak 932 mg kg⁻¹ Sr (Assylbekova 2013). Isto tako, ranija istraživanja su pokazala visok kapacitet ove vrste za akumulaciju Zn u listovima. Naime, toksične koncentracije Zn (> 400 mg kg⁻¹; Kabata-Pendias 2011) su izmerene u industrijskim zonama u Bugarskoj (650 mg kg⁻¹; Djingova et al. 1999) i u Kazahstanu (do čak 1145 mg kg⁻¹; Assylbekova 2013) (Tabela 129).

Potencijal *P. nigra* za fitoremedijaciju zemljišta zagađenih potencijalno toksičnim elementima je utvrđen na osnovu vrednosti faktora akumulacije i translokacije. Izračunat je BCF <1 na svim analiziranim lokalitetima za sve elemente, osim za As (u Vrhovu), Cd (u Sremskoj Mitrovici i Šapcu) i Zn (u Zagrebu i Jasenovcu) (Tabela 113). Sa druge strane, TF >1 je izračunat za B (na svim ispitivanim lokalitetima), Cd (na svim lokalitetima, osim u Mojstrani i Vrhovu), Sr (na svim ispitivanim lokalitetima, osim u Beogradu), Zn (na svim ispitivanim lokalitetima, izuzev u Sremskoj Mitrovici i Beogradu), Cu (u Vrhovu, Čatežu i Jasenovcu), Mn (u Vrhovu, Čatežu, Jasenovcu i Županji), Pb (u Čatežu) i Se (u Mojstrani, Čatežu i Zagrebu) (Tabela 114). Slično kao kod *S. alba*, sadržaj B u listovima *P. nigra*, kao i vrednosti BCF <1 i TF >1 ukazuju na visoku mobilnost i akumulaciju ovog elementa u listovima. Upravo su rezultati ranijih istraživanja *P. nigra* × *euramericana* pokazali kapacitet nekih varijeteta ove vrste za fitoekstrakciju B (Rees et al. 2011). Međutim, naša istraživanja nisu potvrdila navedene nalaze, jer je kod ove vrste u listovima izmeren visok sadržaj B samo na jednom lokalitetu (Sremska Mitrovica). U slučaju As, ne postoji jasna pravilnost, podaci ukazuju da ga ova vrsta slabo usvaja i ne akumulira (BCF <1, TF <1). Izuzetak je lokalitet Vrhovo gde je utvrđen potencijal *P. nigra* za fitostabilizaciju ovog elementa (BCF >1, TF <1; Tabele 113 i 114). Iako su za Cu, Mn, Se i Pb izračunati TF >1 na pojedinim lokalitetima i BCF <1, sadržaj ovih elemenata u listovima je u opsegu normalnom za biljke, što isključuje mogućnost upotrebe *P. nigra* za fitoremedijaciju riparijalnih zemljišta zagađenih navedenim elementima (Tabela 40). Ranija istraživanja vrsta *P. nigra* i *P. tremula* u planinskim regionima Srbije su pokazala nešto drugačije vrednosti (TF <1; Đelić et al. 2018; Tabela 130). Sadržaj Cd u korenu i listovima *P. nigra* na lokalitetima obalne zone reke Save je bio u opsegu normalnih koncentracija za biljke, međutim, rezultati ukazuju na određeni potencijal ove vrste za fitoekstrakciju Cd (pre svega na lokalitetima Šabac i Sremska Mitrovica). Takođe utvrđen je i potencijal za fitoekstrakciju Zn na lokalitetima Zagreb i Jasenovac. *Populus nigra* ne akumulira visoke nivoe Cr i Ni, što potvrđuju BCF <1 i TF <1, zbog čega se može smatrati ekskluderom za ove elemente. U slučaju Sr, rezultati pokazuju BCF <1 i TF >1, što znači da ova vrsta usvaja i transportuje ovaj element u listove (Tabele 113 i 114).

Tabela 129: Sadržaj PTE u listovima i korenu *P. nigra* sa istim utvrđenim u ranijim istraživanjima različitih vrsta roda *Populus*

Vrsta	Koren/list	As (mg kg ⁻¹)	Cd (mg kg ⁻¹)	Cr (mg kg ⁻¹)	Cu (mg kg ⁻¹)	Ni (mg kg ⁻¹)	Pb (mg kg ⁻¹)	Sr (mg kg ⁻¹)	Zn (mg kg ⁻¹)	Referenca
<i>P. nigra</i>	koren	0,00-5,38	0,26-1,03	2,60-7,35	4,03-10,33	0,75-7,94	1,23-4,33	18,20-53,11	11,05-85,93	Rezultati dobijeni u ovoj disertaciji (Tabele 39 i 40)
	listovi	0,00-3,17	0,00-2,06	0,00-0,32	4,06-7,06	0,00-2,04	0,00-3,15	38,71-113,11	10,43-135,23	
<i>P. nigra</i>	listovi	/	/	99,5	/	/	/	932	1145	Assylbekova 2013
<i>P. nigra</i>	listovi	/	1,7-42,9	/	12,5-169	/	2,3-253	/	63,4-143	Baslar et al. 2005
<i>P. nigra</i> var. 'Italica' Koehne	listovi	0,28 -250	0,00-6,6	0,42-1,6	4,0-71	/	3,3-91	/	44-650	Djingova et al. 1999
<i>P. nigra</i> var. 'Italica'	listovi	/	1,33-13,81	/	/	/	0,82-62,3	/	/	Radojčić Redovniković et al. 2017
	stablo	/	1,62-13,80	/	/	/	1,09-108,75	/	/	
	koren	/	1,22-22,00	/	/	/	1,54-407,09	/	/	
<i>P. nigra</i>	listovi	/	1,24	/	4,4	/	/	/	77,7	Sawidis et al. 2002
<i>P. nigra</i>	koren	/	0,707-0,738	2,444-5,145	10,3-13,19	4,48-6,26	4,18-4,30	/	58,75-68,45	Stobrawa & Lorenc-Plucińska 2007
		/	0,834-1,161	5,745-7,045	950-1535	9,80-12,84	73,76-98,55	/	135,5-150,9	
<i>P. nigra</i>	koren	/	9735	/	/	/	/	/	/	Zacchini et al. 2011
	listovi	/	23	/	/	/	/	/	/	

Tabela 130. Poređenje izračunatih BCF i TF za vrste *P. alba* i *P. nigra* sa istim utvrđenim u ranijim istraživanjima različitih vrsta roda *Populus*

Vrsta	Faktori	Cd	Cr	Cu	Mn	Pb	Zn	Referenca
<i>P. nigra</i>	BCF	0,00-8,06	0,02-0,34	0,01-0,71	0,02-0,13	0,02-0,14	0,07-1,38	Rezultati dobijeni u ovoj disertaciji (Tabele 113 i 114; 117 i 118)
	TF	1,00-6,87	0,00-0,08	0,48-1,34	0,30-2,83	0,00-1,04	0,40-5,29	
<i>P. alba</i>	BCF	0,00-16,14	0,03-0,08	0,06-0,31	0,06-0,09	0,06-0,30	0,08-0,40	Baldantoni et al. 2014
	TF	0,50-1,50	0,03-0,12	0,62-1,21	0,59-1,19	0,09-0,19	1,80-5,63	
<i>P. nigra</i> klon	TF	3,02	/	0,23	/	0,05	1,93	Baldantoni et al. 2014
	TF	3,26	/	0,43	/	0,16	6,62	
	BCF	1,2	/	0,54	/	0,11	1,54	
	BCF	0,86	/	0,36	/	0,07	0,49	
<i>P. tremula</i>	TF	/	0,06-0,07	0,28-0,75	0,15-0,92	/	1,38-2,50	Đelić et al. 2018
<i>P. nigra</i>	TF	/	0,03-0,08	0,17-0,23	0,06-0,18	/	0,56-1,42	Zacchini et al. 2011
<i>P. nigra</i>	TF	0,24	/	/	/	/	/	

5.4.3. *Populus alba*

Rezultati istraživanja predstavljeni u ovoj doktorskoj disertaciji pokazuju da vrsta *P. alba* akumulira pojedine elemente (B, Cr, Fe, Li, Sr i Zn) u koncentracijama koje se smatraju toksičnim za biljke. Rezultati merenja sadržaja elemenata u korenu su pokazali sledeće: koncentracije Cr $>5 \text{ mg kg}^{-1}$, izmerene su u Županji, Sremskoj Mitrovici i Šapcu; a koncentracije Li $>5 \text{ mg kg}^{-1}$ na svim analiziranim lokalitetima (Tabela 56; Alloway 1995, 2013; Kabata-Pendias 2011). U korenu *P. alba* su izmerene koncentracije iznad toksičnog opsega za Fe i Sr na sledećim lokalitetima: Fe $>300 \text{ mg kg}^{-1}$, na svim analiziranim lokalitetima; i Sr $>30 \text{ mg kg}^{-1}$, u Županji i Šapcu (Tabela 56; Alloway 1995; Kabata-Pendias 2011). Dobijeni rezultati ukazuju na prisustvo lokalnih tačkastih antropogenih izvora ovih PTE. Izuzetak je Fe, čije je poreklo najčešće litogeno. Takođe, toksični sadržaji B, Sr i Zn su izmereni i u listovima *P. alba* na pojedinim lokalitetima: B $>100 \text{ mg kg}^{-1}$, izmeren je u Sremskoj Mitrovici, Šapcu i Beogradu; Sr $>30 \text{ mg kg}^{-1}$, na svim lokalitetima, dok je Zn $>100 \text{ mg kg}^{-1}$, izmeren u Šapcu i Beogradu (Tabela 57; Alloway 1995; Kabata-Pendias 2011).

Sa druge strane, u korenu *P. alba* izmereni su niski sadržaji esencijalnih elemenata, u opsegu deficita za biljke, i to B ($<10 \text{ mg kg}^{-1}$) na svim lokalitetima i Cu ($<5 \text{ mg kg}^{-1}$) u Beogradu (Tabela 56; Kabata-Pendias 2011). U listovima su takođe izmereni niski sadržaji esencijalnih elemenata, u opsegu deficita za biljke, i to Cu ($<5 \text{ mg kg}^{-1}$) u Županji i Sremskoj Mitrovici, i Fe ($<50 \text{ mg kg}^{-1}$) u Sremskoj Mitrovici (Tabela 57; Kabata-Pendias 2011). Deficit Cu i Fe u korenu i listovima *P. alba* takođe može biti uzrokovan alkalnom reakcijom zemljišta, niskim vrednostima CEC i niskim procentom organske materije u zemljištu istraživanih lokaliteta (Tabela 4; Streit & Stumm 1993; Adriano 2001; Kabata-Pendias 2011).

Rezultati merenja sadržaja PTE u biljnom materijalu *P. alba* u obalnoj zoni reke Save pokazuju da ova vrsta ima veliki afinitet za usvajanje i akumulaciju pojedinih PTE iz zemljišta i da je to karakteristika vrste. Rezultati ovog, ali i drugih istraživanja ukazuju na potencijal *P. alba* kao i nekih drugih vrsta ovog roda za biomonitoring zagađenja različitih tipova zemljišta, uključujući i obalna zemljišta velikih reka. Kao što je već pomenuto, toksični sadržaji PTE izmereni u biljnom materijalu, pre svega u listovima *P. alba* iz riparijalne zone reke Save, rezultat su prisustva toksičnih sadržaja ovih elemenata u zemljištu, što je potvrđeno i rezultatima korelacione analize. Naime, utvrđene su značajne pozitivne korelacije između sadržaja Cd u zemljištu i korenu ove vrste, kao i između sadržaja B, Cd, Cr, Fe, Mn, Ni i Zn u zemljištu i listovima, što ukazuje na potencijal za bioindikaciju i monitoring zagađenja obalnih zemljišta ovim potencijalno toksičnim elementima (Tabela 115).

Kada se uporede izmereni sadržaji Cd, Cu, Ni, Pb i Zn u listovima *P. alba* u obalnom zemljištu na istraživanim lokalitetima reke Save, sa istim na drugim rekama na području Evrope, može se konstatovati da su očekivano viši sadržaji Cd i Zn izmereni u listovima *P. alba* u riparijalnoj zoni reke Guadamar u Španiji, koja je bila pogođena izlivanjem otrovnog mulja iz rudnika, dok su izmereni sadržaji Cu, Ni i Pb bili slični (Madejón et al. 2004; Domínguez et al. 2008). Isto tako, viši sadržaj Cd i Zn je izmeren u listovima *P. alba* na odlagalištima zagađenog sedimenta duž reke Scheldt u Belgiji, dok je nivo Cu i Pb bio sličan sa vrednostima izmerenim u uzorcima analiziranim u ovoj doktorskoj disertaciji (Mertens et al. 2004; Tabela 131). Niža akumulacija Cd i Zn u listovima *P. alba* može biti povezana sa nižim sadržajem ovih elemenata u obalnim zemljištima reke Save, u poređenju sa sadržajem ovih elemenata u zemljištima uz reke Guadamar i Scheldt.

Izmeren je sličan sadržaj Cd, Cr, Cu, Pb i Zn u korenu i listovima *P. alba* na analiziranim lokalitetima, i u korenu i listovima *P. alba* klon 'Villafranca' na nezagađenim staništima u blizini grada Kórník, kao i u blizini deponije kožarskog otpada kod gradića Kępice (Poljska) (Szuba & Lorenc-Plucińska 2018). Izuzetak su veoma visoki nivoi Cr koje je klon 'Villafranca' akumulirao u korenu na deponiji kožarskog otpada, što ukazuje na potencijal za akumulaciju ovog elementa u korenu (Tabela 131). To potvrđuju i izmereni toksični sadržaji Cr u korenu *P. alba* u obalnoj zoni reke Save (Tabela 56). Takođe, istraživanjima sadržaja B, Cd, Cr, Ni i Zn u korenu i listovima *P.*

alba i hibrida *P. tremula* × *P. alba* u eksperimentalnim uslovima, utvrđeno je da *P. alba* ima potencijal za akumulaciju izuzetno visokih koncentracija ovih elemenata (Mertens et al. 2004; Durand et al. 2010; Rafati et al. 2011; Yıldırım 2017; Tabela 131). Takođe, povišeni sadržaj B je izmeren u listovima *Populus alba* × *glandulosa* koja raste na odlagalištu otpada drvne industrije na Novom Zelandu (Robinson et al. 2007).

Rezultati merenja sadržaja Sr u listovima i korenu, i Li u korenu *P. alba* pokazuju akumulaciju povišenih sadržaja ovih elementa. U proseku su izmerene dvostruko više koncentracije Sr u listovima od onih koje se smatraju toksičnim za biljke (Tabela 57). Međutim, u dostupnoj literaturi nema podataka o akumulaciji Sr i Li za vrstu *P. alba*, niti o mogućim toksičnim efektima ovih elemenata, te je neophodno sprovesti dodatna istraživanja, kako bi se preciznije utvrdio potencijal vrste za akumulaciju Sr i Li.

Dobijeni rezultati pokazuju da je $BCF < 1$ utvrđen za sve elemente na analiziranim lokalitetima, osim za Cd u Sremskoj Mitrovici, Šapcu i Beogradu (Tabela 117). Sa druge strane, izračunat je $TF > 1$ za B, Sr i Zn na svim ispitivanim lokalitetima; Cd u Županji i Sremskoj Mitrovici; Se na svim ispitivanim lokalitetima, osim u Beogradu; kao i za Cu i Mn u Beogradu (Tabela 118). Generalno, rezultati ovih istraživanja potvrđuju visoku mobilnost B, Sr i Zn, i njihov transport i akumulaciju u listovima (Tabele 117 i 118). Slično kao kod *P. nigra*, i kod ove vrste su utvrđeni $BCF > 1$ i $TF > 1$ za Cd u Sremskoj Mitrovici, što ukazuje na potencijal *P. alba* za fitoekstrakciju ovog elementa, dok sa druge strane, ova vrsta poseduje potencijal za fitostabilizaciju Cd u Šapcu i Beogradu ($BCF > 1$ i $TF < 1$; Tabele 117 i 118).

Tabela 131: Poređenje izmerenih sadržaja PTE u vrsti *P. alba* sa istim utvrđenim u ranijim istraživanjima različitih vrsta roda *Populus*

Vrsta	Koren/list	As (mg kg ⁻¹)	B (mg kg ⁻¹)	Cd (mg kg ⁻¹)	Cr (mg kg ⁻¹)	Cu (mg kg ⁻¹)	Ni (mg kg ⁻¹)	Pb (mg kg ⁻¹)	Zn (mg kg ⁻¹)	Referenca
<i>P. alba</i>	koren	1,83-2,56	7,31-14,96	0,52-2,06	3,61-8,65	4,56-11,68	2,56-9,32	2,97-11,07	28,17-42,35	Rezultati dobijeni u ovoj disertaciji (Tabele 56 i 57)
	listovi	/	47,25-135,26	0,77-1,55	0,22-0,50	3,67-7,53	0,00-1,40	0,45-1,63	50,64-238,70	
<i>P. alba</i>	listovi	0,5	/	3,13	/	8,11	/	1,21	412	Domínguez et al. 2008
<i>P. tremula</i> × <i>P. alba</i>	koren	/	/	0,00-255	/	/	/	/	10,1-194	Durand et al. 2010
	listovi	/	/	0,00-84,0	/	/	/	/	35,3-325	
<i>P. alba</i>	listovi	2,7	/	3,8	/	7,6	1,3	5,0	542	Madejón et al. 2004
<i>P. alba</i>	listovi	/	/	8,0	/	3,8	/	3,3	465	Mertens et al. 2004
<i>P. alba</i>	listovi	/	/	13,97	15,39	/	85,54	/	/	Rafati et al. 2011
<i>Populus alba</i> × <i>glandulosa</i>	listovi	/	776-1112	/	/	/	/	/	/	Robinson et al. 2007
<i>P. alba</i> L. klon 'Villafranca'	listovi	/	/	0,38-0,90	1,2-2,4	8,7-13,7	/	0,27-0,29	120,2-326,0	Szuba & Lorenc-Plucińska 2018
	koren	/	/	0,22-0,28	6-1091	7,19-20,0	/	4,07-6,0	47,4-63	
<i>P. alba</i>	listovi	/	219-1806	/	/	/	/	/	/	Yıldırım 2017
	koren	/	83-945	/	/	/	/	/	/	

5.4.4. *Ulmus glabra*

Vrsta *U. glabra* je pokazala potencijal za akumulaciju PTE u opsegu toksičnom za biljke. Izmereni sadržaji As, Cr, Fe, Li, Se i Sr u korenu su bili u toksičnom opsegu, i to: As $>5 \text{ mg kg}^{-1}$ na lokalitetima Zagreb, Jasenovac i Šabac; zatim Cr i Li $>5 \text{ mg kg}^{-1}$, na svim lokalitetima izuzev Litije, Čateža, Zagreba i Šapca; i Se $>5 \text{ mg kg}^{-1}$, na svim lokalitetima izuzev Litije, Zagreba i Šapca (Tabela 73; Alloway 1995; Kabata-Pendias 2011). Sadržaji Fe i Sr u korenu *U. glabra* su bili iznad toksičnog opsega: Fe $>300 \text{ mg kg}^{-1}$ je izmereno na svim lokalitetima izuzev u Litiji, Čatežu i Zagrebu; i Sr $>30 \text{ mg kg}^{-1}$ je izmeren na svim lokalitetima osim u Litiji, Čatežu, Zagrebu i Beogradu (Tabela 73). U listovima *U. glabra* su akumulirani As, Cr, Li i Se u sadržajima u okviru opsega toksičnih za biljke, i to: As $>5 \text{ mg kg}^{-1}$ u Zagrebu; zatim Cr $>5 \text{ mg kg}^{-1}$ u Slavonskom Brodu; potom Li $>5 \text{ mg kg}^{-1}$ u Jasenovcu i Slavonskom Brodu; Se $>5 \text{ mg kg}^{-1}$ u Radovljici, Čatežu, Jasenovcu, Županji, Sremskoj Mitrovici i Beogradu. Sadržaji Fe iznad toksičnog opsega ($>300 \text{ mg kg}^{-1}$) su izmereni u Čatežu, Jasenovcu i Slavonskom Brodu, kao i Sr ($>30 \text{ mg kg}^{-1}$) na svim analiziranim lokalitetima (Tabela 74; Alloway 1995; Kabata-Pendias 2011). Dobijeni rezultati posredno ukazuju na prostorni gradijent povećanja sadržaja PTE u zemljištima od izvora ka ušću reke Save u Dunav (Mataruga et al. 2020b).

Takođe, izmeren je deficit pojedinih esencijalnih elemenata u korenu ove vrste i to: deficit B ($<10 \text{ mg kg}^{-1}$) u Čatežu i Zagrebu; Mn ($<30 \text{ mg kg}^{-1}$) u Litiji, Čatežu, Zagrebu i Šapcu i Zn ($<20 \text{ mg kg}^{-1}$) na svim lokalitetima, od Radovljice do Županje (Tabela 73; Kabata-Pendias 2011). Moguć uzrok deficita Mn i Zn mogu biti njihovi antagonistički odnosi sa As i Fe (Kabata-Pendias 2011). Naime, deficit Mn je izmeren u Zagrebu i Šapcu, pri čemu je na ovim lokalitetima istovremeno u korenu izmeren i sadržaj As u toksičnom opsegu za biljke (Tabela 73). Takođe, u Radovljici, Jasenovcu, Slavonskom Brodu i Županji su u korenu istovremeno izmereni deficit Zn i toksičan nivo Fe (Tabela 73). Sa druge strane, u listovima su izmereni niski sadržaji esencijalnih elemenata, u opsegu deficita za biljke: Mn $<30 \text{ mg kg}^{-1}$ je izmeren na svim lokalitetima izuzev Čateža, Jasenovca i Slavonskog Broda i Zn $<20 \text{ mg kg}^{-1}$ je izmeren u Radovljici, Litiji, Čatežu, Zagrebu i Sremskoj Mitrovici. Generalno, usvajanje B, Mn i Zn od strane biljaka je otežano u uslovima alkalne reakcije zemljišta, niskog sadržaja gline i organske materije, i visokog udela peska u granulometrijskom sastavu (Tabele 3 i 4; Streit & Stumm 1993; Adriano 2001; Kabata-Pendias 2011). Prema Kabata-Pendias (2011) usvajanje Mn i Zn može biti uslovljeno antagonizmom ovih elemenata sa As (čiji je toksičan nivo izmeren u listovima na lokalitetu Zagreb), Fe (na lokalitetu Čatež), kao i sa Se (na lokalitetima Radovljica, Čatež, Županja, Sremska Mitrovica i Beograd).

Ranije studije su pokazale sličnost u koncentracijama Cd, Cr, Cu, Pb i Zn u listovima ispitivane vrste *U. glabra* sa istim u listovima *U. laevis* i *U. pumila* sa urbanih staništa (grad Aktobe, Republika Kazakistan; Utarbayeva et al. 2018), kao i u listovima *U. pumila* sa jalovišta uglja u kineskoj provinciji Shaanxi (Yakun et al. 2016) (Tabela 132). Sa druge strane, Saba et al. (2015) su u listovima *U. pumila* na rudnim nalazištima Pb i Zn u Iranskoj provinciji Zanzan izmerili više sadržaje Cd, Cu, Pb i Zn, u poređenju sa *U. glabra* obuhvaćenim našim istraživanjima. Isto tako, sadržaji Fe, Mn, Ni, Pb i Zn u listovima *U. glabra* u obalnoj zoni reke Save su viši od istih izmerenih u uzorcima ove vrste sa prirodnog staništa na planini Honaz u Turskoj (Baslar et al. 2009). Takođe, prethodna studija na ovoj vrsti je pokazala akumulaciju izuzetno visokih nivoa Sr u listovima na podlozi bogatoj ovim elementom u Velikoj Britaniji (čak 17650 mg kg^{-1} , Bowen & Dymond 1955). Dobijeni rezultati potvrđuju toleranciju *U. glabra* na različite koncentracije PTE u različitim tipovima zemljišta na kojima raste ova vrsta (Tabela 132). Prosečan sadržaj Cd utvrđen u ovom istraživanju je niži od istog u listovima *U. carpinifolia* Rupp. ex Suckow sa urbanih staništa (Miri et al. 2016), kao i u listovima *U. pumila* u industrijskoj zoni u provinciji Zanzan u Iranu, i u provinciji Shaanxi u Kini (Tabela 132; Saba et al. 2015, Yakun et al. 2016). Nasuprot tome, sadržaj B u listovima ispitivane vrste je niži u odnosu na ranije izmeren sadržaj u listovima *U. parvifolia* Jacq. (Brown & Shelp 1997) (Tabela 132). Sadržaj Fe izmeren u listovima *U. glabra* je viši u poređenju sa istim u listovima vrsta *U. laevis* i *U. minor* tretiranim različitim koncentracijama Fe u

eksperimentalnoj studiji (Venturas et al. 2014; Tabela 132), kao i u poređenju sa listovima *U. pumila* i *U. laevis* sa urbanih staništa (Utarbayeva et al. 2018). Izmereni sadržaji Cr i Ni u korenu i listovima *U. glabra* na ispitivanim lokalitetima su viši od sadržaja istih izmerenih kod *U. pumila* koja raste na zagađenim zemljištima i *U. glabra* koja raste u urbanim i industrijskim zonama (Baslar et al. 2009; Saba et al. 2015; Yakun et al. 2016; Tabela 132). Povećani sadržaji Cr i Ni mogu biti uslovljeni geologijom sliva reke Save, odnosno prisustvom ultramafita kao geološke podloge.

Slične koncentracije Cu su izmerene kod *U. glabra* u obalnoj zoni reke Save u poređenju sa *U. carpinifolia* (Miri et al. 2016) i *U. pumila* (Yakun et al. 2016) sa urbanih i nezagađenih staništa, i nešto više u poređenju sa uzorcima *U. glabra* iz urbanih i industrijskih zona (Baslar et al. 2009; Tabela 132). Dodatno, istraživanja sprovedena u okviru ove doktorske disertacije su potvrdila potencijal proučavane vrste za akumulaciju povišenih koncentracija Sr i Se u korenu, međutim u dostupnoj literaturi nema novijih podataka o njihovoj akumulaciji kod vrsta roda *Ulmus*.

Navedene razlike su rezultat visoke korelisanosti sadržaja PTE u biljkama i u zemljištima različitih tipova i nivoa kontaminacije. U sprovedenim istraživanjima, sadržaj PTE u biljnom materijalu *U. glabra* je takođe uslovljen sadržajem ovih elemenata u zemljištu. Naime, utvrđene su značajne pozitivne korelacije između sadržaja As, Cd, Cr, Ni, Pb i Zn u zemljištu sa istim u korenu, i sa sadržajem B, Cr, Mn i Ni u listovima ove vrste (Tabela 119). Rezultati ovog, ali i ranijih istraživanja potvrđuju značajan potencijal *U. glabra*, kao i nekih drugih vrsta istog roda za biomonitoring zagađenja različitih tipova zemljišta, uključujući i obalna zemljišta reke Save. Kod *U. glabra*, utvrđen je $BCF > 1$ za As (u Zagrebu i Jasenovcu), Cd (u Sremskoj Mitrovici, Šapcu i Beogradu), kao i za Cu, Li i Pb (u Jasenovcu) (Tabela 121). Sa druge strane, izračunat je $TF > 1$ za Al i Pb (u Čatežu), As (u Radovljici, Zagrebu i Slavonskom Brodu), B (na svim ispitivanim lokalitetima), Cu (u Radovljici, Zagrebu i Šapcu), Fe (u Čatežu i Slavonskom Brodu), Li (u Slavonskom Brodu), Mn (u Čatežu, Zagrebu, Slavonskom Brodu i Šapcu), Ni (u Šapcu), Se (u Litiji, Jasenovcu i Županji), Sr (na svim lokalitetima izuzev Radovljice i Jasenovca) i Zn (na svim lokalitetima izuzev Zagreba, Sremske Mitrovice i Šapca) (Tabela 122). Generalno, i kod ove vrste je potvrđen karakterističan trend usvajanja B i Sr ($BCF < 1$ i $TF > 1$), pri čemu je Sr izmeren u toksičnim koncentracijama. Efikasan transport B u listove potvrđuje ranije nalaze za ovu vrstu do kojih su došli Lehto et al. (2004). Na većini lokaliteta su $BCF < 1$ i $TF < 1$, što je pokazatelj da ova vrsta ne može da se primeni u fitoremedijaciji As. Na lokalitetu Jasenovac *U. glabra* se ponaša kao fitostabilizator As, Cu, Li i Pb, s obzirom da usvaja toksične koncentracije ovih elementa u korenu, i ima $BCF > 1$ i $TF < 1$. U slučaju Cd, *U. glabra* se na lokalitetima u donjem toku reke (Sremska Mitrovica, Šabac i Beograd), takođe ponaša kao fitostabilizator ($BCF > 1$ i $TF < 1$). Sa druge strane, ova vrsta usvaja esencijalne elemente poput Cu, Mn i Zn i transportuje ih u listove ($BCF < 1$ i $TF > 1$) radi obavljanja fizioloških procesa. Međutim, to usvajanje je u nedovoljnim koncentracijama na pojedinim lokalitetima, što za rezultat ima pojavu deficita. Takođe vrsta *U. glabra* se ponaša i kao ekskluder Cr.

Tabela 132: Poređenje izmerenih sadržaja PTE u vrsti *U. glabra* sa istim utvrđenim u ranijim istraživanjima različitih vrsta roda *Ulmus*

Vrsta	Koren/ list	As (mg kg ⁻¹)	B (mg kg ⁻¹)	Cd (mg kg ⁻¹)	Cr (mg kg ⁻¹)	Cu (mg kg ⁻¹)	Fe (mg kg ⁻¹)	Mn (mg kg ⁻¹)	Ni (mg kg ⁻¹)	Pb (mg kg ⁻¹)	Sr (mg kg ⁻¹)	Zn (mg kg ⁻¹)	Referenca
<i>U. glabra</i>	koren	0,00-6,57	8,33-16,20	0,00-0,98	0,97-14,69	5,27-11,78	147,89- 6998,15	5,28-180,01	0,00-8,85	0,00-12,19	13,84-58,16	2,65-26,34	Rezultati dobijeni u ovoj disertaciji (Tabele 73 i 74)
	listovi	1,58-5,55	27,87-54,23	0,00-0,25	0,00-5,78	5,47-8,50	61,99-2479	4,95-65,66	0,00-5,61	0,00-4,07	3,44-6,44	3,89-30,45	
<i>U. glabra</i>	listovi						1,811	0,148	0,177	0,485		0,483	Baslar et al. 2009
<i>U. glabra</i>	listovi										17650		Bowen & Dymond 1955
<i>U. procera</i>	listovi										17,4		
<i>U. parvifolia</i>	listovi		98-205										Brown & Shelp 1997
<i>U. laevis</i>	listovi	0,03-0,20											Budzyńska et al. 2017
	koren	0,17-9,14											
<i>U. carpinifolia</i>	listovi			0,36-7,5		0,06-9,5				0,25-12,5		8,6-47,15	Miri et al. 2016
<i>U. laevis</i>	listovi	6,0-7,0		3,3		7,5				6,0-7,0		70	Mleczek et al. 2017
<i>U. pumila</i>	listovi			2,51	0,95	83,48	164	31,39	1,38	315,81		242,51	Saba et al. 2015
<i>U. pumila</i>	listovi			0,00-0,13	0,36-6,19	1,3-8,08	11,5-53,46	5,9-23,6		<LoQ		1,6-8,49	Utarbayeva et al. 2018
<i>U. laevis</i>	listovi			<LoQ	0,29-17,36	0,60-4,64	9,03-80,36	5,10-35,1		0,00-0,34		1,25-7,39	
<i>U. laevis</i>	listovi						21,0-60,3						Venturas et al. 2014
<i>U. minor</i>	listovi						10,8-44,9						
<i>U. pumila</i>	listovi			0,47	3,78	4,54			7,38			23,61	Yakun et al. 2016
	koren			0,55	5,79	7,6			4,08			25,05	

*<LoQ – ispod nivoa detekcije

5.4.5. *Juglans regia*

Rezultati istraživanja sprovedenih u okviru ove doktorske disertacije pokazuju da je vrsta *J. regia* na pojedinim lokalitetima akumulirala ispitivane elemente u sadržajima koji se smatraju toksičnim za biljke. U korenu ove vrste, u opsegu toksičnih sadržaja su akumulirani sledeći elementi: Cr (>5 mg kg⁻¹; na svim lokalitetima izuzev Vrhova), Se (>5 mg kg⁻¹; na lokalitetima Mojstrana, Radovljica, Litija i Vrhovo) i Li (>5 mg kg⁻¹; na lokalitetima Čatež, Jasenovac i Sremska Mitrovica), a takođe su izmerene koncentracije iznad toksičnog opsega za Fe (>300 mg kg⁻¹; na svim analiziranim lokalitetima) i Sr (>30 mg kg⁻¹; na svim lokalitetima izuzev Mojstrane) (Tabela 90; Alloway 1990; Kabata-Pendias 2011). Sa druge strane, u listovima *J. regia* su u toksičnim nivoima akumulirani Se (>5 mg kg⁻¹; na svim lokalitetima, izuzev Mojstrane i Radovljice), As (>5 mg kg⁻¹; u Litiji, Vrhovu i Čatežu) i Li (>5 mg kg⁻¹; u Jasenovcu), dok su koncentracije Fe (>300 mg kg⁻¹; u Jasenovcu) i Sr (>30 mg kg⁻¹; na svim analiziranim lokalitetima) bile iznad toksičnog opsega (Alloway 1995; Kabata-Pendias 2011) (Tabela 91). I u ovom slučaju, rezultati ukazuju na lokalne izvore zagađenja navedenim elementima.

Istovremeno, izmeren je deficit esencijalnih elemenata poput Cu, Mn i Zn u korenu i listovima *J. regia* na različitim lokalitetima, i to u korenu za: Cu <5 mg kg⁻¹ na lokalitetima Mojstrana, Vrhovo i Jasenovac; Mn <30 mg kg⁻¹ na lokalitetima Mojstrana i Radovljica; i Zn <20 mg kg⁻¹ u Vrhovu, Čatežu i Jasenovcu (Tabela 90; Kabata-Pendias 2011). Takođe, u uzorcima listova izmeren je deficit Cu u Vrhovu, Čatežu, Jasenovcu i Sremskoj Mitrovici; Mn u Radovljici i Čatežu; i Zn na svim lokalitetima izuzev Radovljice i Litije (Tabela 91; Kabata-Pendias 2011). I u ovom slučaju, deficit Cu, Mn i Zn rezultat je alkalne reakcije zemljišta, visokog udela peska i niskog sadržaja organske materije (Tabele 3 i 4; Mehra & Farago 1994; Kabata-Pendias 2011). Dodatno, deficit Mn se može javiti usled antagonističkih interakcija sa Fe i Cr na nivou korena (Kabata-Pendias 2011). Naime, Fe i Cr su akumulirani u korenu *J. regia* u toksičnim nivoima upravo na lokalitetima gde je zabeležen i deficit Mn (Tabela 90; Kabata-Pendias 2011). Slično, na lokalitetima gde je Zn u deficitu, *J. regia* je akumulirala Fe u korenu u toksičnim nivoima (Tabela 91).

Rezultati merenja sadržaja PTE u korenu i listovima *J. regia* u obalnoj zoni reke Save pokazuju da ova vrsta ima potencijal za usvajanje i akumulaciju pojedinih PTE iz različitih tipova zemljišta, uključujući i ona izložena zagađivanju iz različitih prirodnih i antropogenih izvora. Utvrđene su značajne pozitivne korelacije između sadržaja Al, B, Cd, Cr, Cu, Fe, Li, Mn, Ni, Pb i Zn u zemljištu sa istim u korenu, i sadržaja B u zemljištu sa istim u listovima ove vrste (Tabela 123). Prema dobijenim rezultatima *J. regia* se može smatrati bioindikatorom za navedene elemente u obalnim zemljištima reke Save.

Upoređivanjem sadržaja PTE u listovima *J. regia* sa riparijalnih staništa istraživanih lokaliteta, sa istim na drugim staništima širom sveta, mogu se uočiti slične vrednosti koncentracija As, Cd, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Sr i Zn kod ove vrste koja raste na staništima u zoni rudnih nalazišta i na urbanim staništima u Turskoj (Arik & Yaldiz 2010; Dogan et al. 2014; Kalkışım et al. 2014), zatim na staništima u oblasti rudnih basena lignita i većeg broja termoelektrana koje sagorevaju ugalj u Grčkoj (Sawidis et al. 2002), kao i u različitim industrijskim centrima u Bugarskoj (Arpadjan et al. 2013). Slične vrednosti pokazuju i rezultati eksperimentalnih studija na ovoj vrsti (Nečemer et al. 2008; Özcan 2008).

U prethodnim istraživanjima utvrđeno je da *J. regia* ima kapacitet za akumulaciju povišenih koncentracija Zn (i do 1000 mg kg⁻¹) na jalovištima rudnika Cu i topioničarskog basena Bor (Antonijević et al. 2012), kao i Cu i Fe na urbanim staništima u Turskoj (Dogan et al. 2014), dok eksperimentalne studije pokazuju i potencijal za akumulaciju Pb u korenu (do 9000 mg kg⁻¹, Marmiroli et al. 2005) i Sr u listovima (do 44 mg kg⁻¹; Nečemer et al. 2008) (Tabela 133). Pored toga, studija Dogan et al. (2014) pokazuje sličan sadržaj Cd, Mn i Ni u listovima ove vrste. Isto tako, u listovima je sadržaj Zn bio sličan sa istim izmerenim u uzorcima *J. regia* na lokalitetima u oblastima bogatim Cu u Iranu (Ghaderian & Ghotbi Ravandi 2012; Tabela 133). Sposobnost *J. regia* da akumulira Cr u korenu, ustanovili su i Marmiroli et al. (1999) u eksperimentalnoj studiji.

Veliki broj prethodnih istraživanja akumulacije PTE od strane *J. regia* je bio fokusiran na sadržaj ovih elemenata u plodovima (Cosmulescu et al. 2009; Arik & Yaldiz 2010; Arpadjan et al. 2013; Tošić et al. 2014; Han et al. 2018). Pokazalo se da *J. regia* u plodovima akumulira niske sadržaje As, B, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Se, Sr i Zn, što je veoma važan podatak, imajući u vidu da se plodovi ove vrste koriste u ishrani ljudi (Tabela 133).

Biokoncentracioni faktor >1 je utvrđen za: As (u Jasenovcu), Cd (u Sremskoj Mitrovici) i Sr (u Litiji) (Tabela 125). Sa druge strane, izračunat je $TF > 1$ za As (u Litiji, Vrhovu, Čatežu i Sremskoj Mitrovici), B (na svim ispitivanim lokalitetima), Cu (u Mojstrani, Radovljici, Vrhovu i Jasenovcu), Li (u Jasenovcu), Mn (u Mojstrani, Litiji, Vrhovu i Sremskoj Mitrovici), Se (u Čatežu, Jasenovcu i Sremskoj Mitrovici), Sr (u Mojstrani, Vrhovu, Čatežu i Sremskoj Mitrovici), i Zn (u Vrhovu i Jasenovcu) (Tabela 126). Dobijeni rezultati pokazuju sledeće: *J. regia* se ponaša kao ekskluder Cr, Ni i Pb ($BCF < 1$ i $TF < 1$); B i Sr se usvajaju i transportuju u listove ($BCF < 1$ i $TF > 1$); As se akumulira u listovima u koncentracijama koje se smatraju toksičnim, sa potencijalom za fitostabilizaciju ovog elementa na lokalitetu Jasenovac ($BCF > 1$ i $TF < 1$), dok je na lokalitetu Sremska Mitrovica ova vrsta fitostabilizator Cd. Takođe *J. regia* se ponaša i kao fitostabilizator Sr na lokalitetu Litija. Esencijalni elementi poput Cu, Mn i Zn, kod ove vrste su generalno u opsegu deficita.

Tabela 133: Poređenje izmerenih sadržaja PTE u vrsti *J. regia* sa istim utvrđenim u ranijim istraživanjima različitih vrsta roda *Juglans*

Vrsta	Koren/list	As (mg kg ⁻¹)	B (mg kg ⁻¹)	Cd (mg kg ⁻¹)	Cr (mg kg ⁻¹)	Cu (mg kg ⁻¹)	Fe (mg kg ⁻¹)	Mn (mg kg ⁻¹)	Ni (mg kg ⁻¹)	Pb (mg kg ⁻¹)	Se (mg kg ⁻¹)	Sr (mg kg ⁻¹)	Zn (mg kg ⁻¹)	Referenca
<i>J. regia</i>	koren	1,62-4,91	12,17-24,79	0,00-0,45	4,96-24,37	1,92-10,05	386,19-1616,91	14,69-47,55	0,00-7,66	1,26-6,07	2,24-6,69	17,42-69,59	1,60-45,19	Rezultati dobijeni u ovoj disertaciji (Tabele 90 i 91)
	listovi	1,39-5,69	30,47-99,85	<LoQ	0,62-4,63	3,44-9,64	74,55-598,99	8,69-49,24	0,00-1,55	0,00-1,44	4,39-6,25	38,84-96,50	1,60-25,55	
<i>J. regia</i>	listovi	8,0	/	/	/	380	/	/	/	12,0	/	/	620	Antonijević et al. 2012
	stablo	4,0	/	/	/	40	/	/	/	7,0	/	/	840	
	koren	3,0	/	/	/	270	/	/	/	10,0	/	/	1000	
<i>J. regia</i>	plod	0,6	/	0,17	1,0	2,8	/	/	1,1	0,4	/	/	38,3	Arik & Yaldiz 2010
	grane	2,1	/	0,05	1,2	2,1	/	/	0,7	1,9	/	/	12,8	
	stablo	1,4	/	0,11	1,1	2,4	/	/	0,9	1,2	/	/	26	
<i>J. regia</i>	plod	/	/	0,007-0,021	0,033-0,55	15,8-16,6	/	/	0,66-1,08	0,02-0,12	/	/	31-32	Arpadjan et al. 2013
<i>J. regia</i>	plod	/	/	/	/	/	/	/	/	/	0,01-0,05	1,6-5,37		Cosmulescu et al. 2009
<i>J. regia</i>	listovi	/	/	0,01-0,16	1,19-3,13	72,46-88,14	14,4-628	0,90-67,71	1,03-2,74	0,04-0,91	/	/	7,00-28,52	Dogan et al. 2014
<i>J. regia</i>	listovi	/	/	/	/	29	/	/	2,5	3,0	/	/	23	Ghaderian & Ghotbi Ravandi 2012
<i>Juglans sp.</i>	plod	0,0153	/	0,0073	0,1841	/	/	/	/	0,056	/	/		Han et al. 2018
<i>J. regia</i>	plod	/	/	0,055	0,503	15,82	/	/	1,16	/	/	/	21,48	Kalkışım et al. 2014
<i>J. regia</i>	stablo	/	/	/	/	/	/	/	/	5,37-72,26	/	/	/	Marmioli et al. 2005
	koren	/	/	/	/	/	/	/	/	9,76-8963	/	/	/	
<i>J. regia</i>	listovi	/	/	<1	/	/	/	/	/	<12	/	30-44	45	Nečemer et al. 2008
<i>J. regia</i>	plod	/	/	/	1,66	3,76	/	/	2,42	/	/	/	13,88	Özcan 2008
<i>J. regia</i>	listovi	/	/	0,86	/	4,0	/	/	/	/	/	/	18,9	Sawidis et al. 2002
<i>Juglans sp.</i>	plod	/	17,4-18,93	/	0,14-0,15	/	/	/	/	/	0,89-0,98	/	/	Tošić et al. 2014

*<LoQ – ispod nivoa detekcije

5.5. Sličnosti i razlike između proučavanih vrsta biljaka u odnosu na sadržaj PTE u korenu i listovima i u njihovoj potencijalnoj primeni u bioindikaciji i fitoremedijaciji PTE u obalnoj zoni reke Save

Proučavane vrste biljaka *S. alba*, *P. nigra*, *P. alba*, *U. glabra* i *J. regia* su adaptirane na postojeće uslove staništa, uključujući i periodična plavljenja koja podrazumevaju transport i remobilizaciju polutanata, što uključuje potencijalno toksične elemente i njihovu veću akumulaciju u zemljištima u nizvodnim, sporijim delovima reke. Plavljenje je glavni put za difuzno zagađenje obalnog zemljišta PTE, a nivo kontaminacije zemljišta i vegetacije ovim elementima je jedan od indikatora statusa zagađenosti reke (Xiao et al. 2013; Pavlović et al. 2016). Pored difuznog zagađenja, postoje tačkasti izvori zagađenja koji se pojavljuju lokalno i ukazuju na direktne izvore zagađivanja, najčešće poreklom iz antropogenih izvora. Upravo su ova istraživanja pokazala da je u donjem toku reke, generalno veći nivo kontaminacije ovim elementima, dok se u gornjem toku reke nivo kontaminacije dovodi u vezu sa prirodnim rezervama ruda.

I pored činjenice da su obalne šume duž toka reke Save u značajnoj meri očuvane, postoje delovi rečne obale koji su degradovani različitim antropogenim aktivnostima, izgradnjom naselja, industrijskih pogona, akumulacija, luka za pretovar robe i dr. (Milačić et al. 2015; Ščančar et al. 2015). Ova degradovana staništa zahtevaju obnavljanje prirodne vegetacije i/ili remedijaciju zemljišta zagađenih polutantima iz lokalnih izvora. Za rešavanje ovih problema najbolje je koristiti biljke, i to one vrste koje su autohtone i adaptirane na specifične uslove staništa u obalnim ekosistemima, ali i tolerantne na zagađivanje.

Istraživanja drvenastih biljaka na odabranim lokalitetima u obalnoj zoni reke Save sa različitim izvorima zagađenja zemljišta, pokazala su sličnosti i razlike između ispitivanih vrsta u pogledu efikasnosti usvajanja i akumulacije PTE i potencijala za bioindikaciju zagađenja. Efikasnost u odvijanju ovih procesa kod ispitivanih vrsta uslovljena je brojnim faktorima koji su međusobno usko povezani, pre svega fizičkim i hemijskim karakteristikama zemljišta uključujući pH, redoks potencijal, granulometrijski sastav i antagonističke relacije između elemenata (Mehra & Farago 1994; Khan et al. 2000; Vandecasteele et al. 2005), ali i specifičnim karakteristikama ispitivanih rodova i vrsta u smislu afiniteta za akumulaciju PTE (Madejón et al. 2004, 2006, 2017; Clemens 2006; Mleczek et al. 2009). Kao što je već pomenuto, visok sadržaj pojedinih PTE izmeren u korenu i listovima drvenastih vrsta biljaka u riparijalnoj zoni reke Save, može biti rezultat njihovih povišenih koncentracija, koje su unutar, ili iznad opsega toksičnih koncentracija u zemljištu na pojedinim lokalitetima. U prilog tome govore i rezultati korelacione analize, koji ukazuju na potencijal nekih od ispitivanih vrsta za bioindikaciju i monitoring zagađivanja zemljišta pojedinim PTE. Međutim, specifične fizičke i hemijske karakteristike ispitivanih zemljišta kod svih analiziranih vrsta dovode do pojave deficita nekih esencijalnih elemenata, pre svega u listovima na pojedinim lokalitetima, naročito B, Cu, Mn i Zn čije je usvajanje od strane biljaka najčešće limitirano pH reakcijom zemljišta ($\text{pH} > 7$). Pored toga, javlja se i deficit Fe, ali samo kod *S. alba* u Mojstrani.

Sličnosti i razlike između analiziranih vrsta u odnosu na akumulaciju ispitivanih hemijskih elemenata u korenu i listovima, takođe su utvrđene i kanonijskom diskriminantnom analizom (DCA). Ustanovljena je sličnost *S. alba* i *P. alba* na osnovu veće akumulacije Cd, Cu, Fe, Li, Mn, Ni i Pb u korenovima, naročito u Sremskoj Mitrovici i Šapcu, gde se korenovi ovih vrsta izdvajaju po akumulaciji Cd i Cu (Slike 40, 51 i 52). Pored toga, diskriminantnom analizom sadržaja elemenata u biljnom materijalu *S. alba*, izdvaja se Beograd zbog toksičnog sadržaja Cd i Zn u korenu (Slike 35 i 53). Takođe, diskriminantnom analizom sadržaja elemenata u uzorcima *P. alba*, izdvajaju se Šabac i Beograd na osnovu veće akumulacije Cd u korenu ove vrste (Slike 37, 52 i 53).

Vrsta *P. nigra* se diskriminantnom analizom sadržaja ispitivanih hemijskih elemenata u korenu, izdvaja po akumulaciji Zn, naročito u Beogradu i Sremskoj Mitrovici (Slike 36 i 40). Diskriminantna analiza takođe pokazuje i sličnost *P. nigra* sa vrstama *S. alba* i *P. alba* (Slika 40).

Populus nigra takođe usvaja Cd, Cu, Fe, Li, Mn, Ni i Pb, ali sadržaj ovih elemenata u korenu je niži u odnosu na *S. alba* i *P. alba* (Tabele 22, 39 i 56). Vrste *P. nigra* i *S. alba* su takođe slične po akumulaciji Al, Cr, Fe, Mn i Pb u korenu na lokalitetu Zagreb, kao i po sadržaju Cd i Cu u korenu na lokalitetu Šabac (Slike 47 i 52). Pored toga, na lokalitetima Županja, Sremska Mitrovica, Šabac i Beograd utvrđena je izvesna sličnost između *P. nigra* i *P. alba* po akumulaciji Cd, Cu i Mn u korenu (Slike 50-53).

Diskriminantna analiza sadržaja PTE izdvaja vrstu *U. glabra* u odnosu na sadržaj Al, As i Se u korenu, pri čemu se posebno izdvajaju Jasenovac i Beograd (Slike 38 i 40). Ovom analizom je utvrđena sličnost *U. glabra* sa *S. alba* po akumulaciji Se u korenu na lokalitetu Čatež, zatim sličnost sa *P. alba* po akumulaciji As, Cr, Cu i Pb u korenu na lokalitetu Županja, kao i sa *P. nigra* po akumulaciji Cr i Se na lokalitetu Jasenovac i akumulaciji Mn na lokalitetu Beograd (Slike 46, 48, 50 i 53). Sličnost *U. glabra* i *J. regia* se ogleda u izdvajanju od ostalih analiziranih vrsta na osnovu niže akumulacije elemenata u korenu.

Vrsta *J. regia* se diskriminantnom analizom sadržaja hemijskih elemenata u korenu izdvaja na osnovu veće akumulacije B, Cr i Sr (Slika 40). Osim pomenute sličnosti sa *U. glabra*, diskriminantne analize su pokazale i sličnost *J. regia* sa vrstama *S. alba* i *P. nigra* po akumulaciji Mn u Vrhovu, kao i sa *P. nigra* po akumulaciji Cr i Se u korenu, u Jasenovcu (Slike 45 i 48).

U odnosu na akumulaciju PTE u listovima, DCA analiza je izdvojila *S. alba* na osnovu akumulacije Cu, Fe, Li, Ni i Se, a u odnosu na količinu akumuliranih elemenata, posebno su izdvojeni lokaliteti Županja, Sremska Mitrovica i Šabac (Slike 35 i 41). Takođe, diskriminantna analiza ukazuje i na sličnost između *S. alba*, *U. glabra* i *J. regia* po akumulaciji hemijskih elemenata u listovima, s obzirom da ove vrste odvajaju po prvoj diskriminantnoj osi (PC1) od *P. nigra* i *P. alba* (Slika 41). Utvrđena je sličnost između *S. alba* i *U. glabra* na lokalitetu Zagreb po niskoj akumulaciji Ni u listovima (Slika 47; Tabele 23 i 74), dok je na lokalitetu Sremska Mitrovica utvrđena sličnost *S. alba* i *J. regia* po akumulaciji B, Sr i Zn u listovima (Slika 51). Iako DCA odvajaju listove *S. alba* po sadržaju PTE od listova *P. nigra* i *P. alba*, na nivou pojedinačnih lokaliteta postoje sličnosti između ovih vrsta (Slika 41). Tako, između *S. alba* i *P. nigra* se uočava sličnost u Jasenovcu i Županji na osnovu akumulacije B, Sr i Zn, u Čatežu na osnovu akumulacije Cd i Zn, kao i u Šapcu na osnovu akumulacije Mn i Zn u listovima (Slike 46, 48, 50 i 52). Takođe, u Beogradu se uočava sličnost između *S. alba* i *P. alba* na osnovu akumulacije B i Sr u listovima (Slika 53).

Vrste *P. nigra* i *P. alba* su diskriminantnom analizom izdvojene na osnovu sličnosti u akumulaciji B, Cd, Sr i Zn u listovima, a naročito B i Sr u Sremskoj Mitrovici (Slika 41 i 51). Razlike između ovih vrsta u sadržaju PTE u listovima su primetne u Šapcu i Beogradu, gde *P. alba* akumulira više B i Sr, kao i u Županji gde *P. nigra* usvaja veću količinu ovih elemenata (Slike 47, 48 i 50; Tabele 40 i 57). Dodatno, vrsta *P. nigra* se izdvojila od ostalih i u Zagrebu, na osnovu akumulacije B, Cd, Sr i Zn u listovima (Slika 47).

Vrsta *U. glabra* je diskriminantnom analizom izdvojena na osnovu akumulacije Al, As, Cr, Fe, Ni i Pb u listovima, naročito u Zagrebu na osnovu akumulacije toksičnog sadržaja As, kao i u Jasenovcu na osnovu visoke akumulacije Al, Fe, Li, Mn, Ni i Pb (Slike 41, 47 i 48; Tabela 74). Diskriminantna analiza ukazuje i na sličnost ove vrste sa *S. alba*, koja se prvenstveno ogleda u niskoj akumulaciji Ni u listovima na lokalitetu Zagreb (Slike 41 i 47; Tabele 23 i 74).

Diskriminantna analiza je izdvojila *J. regia* od ostalih analiziranih vrsta na osnovu veće akumulacije As u listovima (Slika 41). Sa druge strane, u Sremskoj Mitrovici se uočava sličnost *J. regia* sa *P. nigra* i *P. alba* po akumulaciji B i Sr u listovima (Slika 51).

Korelacione analize su pokazale heterogene rezultate između sadržaja PTE u zemljištu i biljkama, usled razlika u tipovima zemljišta i zavisnosti usvajanja PTE od lokalnih fizičko-hemijskih karakteristika zemljišta, kao i usled osobina elemenata i afiniteta ispitivanih biljaka za usvajanje pojedinih elemenata, posebno esencijalnih. Značajne pozitivne korelacije između sadržaja analiziranih elemenata u zemljištu sa istim u biljnom materijalu, utvrđene su za sve analizirane elemente u korenu izuzev za Sr, kao i za Al, B, Cu, Mn, Ni i Zn u listovima *S. alba*, zatim za B, Fe, Li, Mn, Ni i Pb u korenu i za As, Mn i Ni u listovima *P. nigra*, potom za Cd u korenu i za B, Cd,

Cr, Fe, Mn, Ni, Sr i Zn u listovima *P. alba*, onda za As, Cd, Cr, Ni i Zn u korenu i za B, Mn i Ni u listovima *U. glabra*, i za Al, B, Cd, Cr, Cu, Fe, Li, Mn, Ni, Pb i Zn u korenu i za B u listovima *J. regia*. Ovi rezultati ukazuju na određeni potencijal ispitivanih vrsta za indicaciju zagađenja zemljišta pojedinim potencijalno toksičnim elementima (As, Cd, Cr, Ni, Fe, Sr).

Analize biokoncentracionog i translokacionog faktora za PTE kod ispitivanih biljaka su pokazale da su ove vrste generalno tolerantne na povišene, odnosno toksične koncentracije pojedinih elemenata u zemljištu, i da pojedine biljne vrste imaju potencijal za fitoremedijaciju. Međutim fitoremedijacioni potencijal vrsta za ispitivane elemente nije ustanovljen na svim lokalitetima. Naime, prema $BCF > 1$ i $TF < 1$ vrste *S. alba*, *P. alba* i *J. regia* su pokazale potencijal za fitostabilizaciju Cd u donjem toku reke Save, dok su *P. nigra*, *U. glabra* i *J. regia* pokazale potencijal za fitostabilizaciju As na pojedinim lokalitetima gornjeg i srednjeg toka reke. Dodatno, *J. regia* ima potencijal za fitostabilizaciju Sr, dok se *U. glabra* ponaša kao fitostabilizator Cu, Li i Pb. Na osnovu $BCF > 1$ i $TF > 1$, utvrđeno je da *P. nigra*, *P. alba* i *U. glabra* imaju potencijal za fitoekstrakciju Cd u donjem toku reke Save, dok su *S. alba* i *P. nigra* pokazale potencijal za fitoekstrakciju Zn u srednjem delu toka reke. Dodatno, vrsta *U. glabra* se ponaša kao fitoekstraktor As na lokalitetu Zagreb. Takođe, utvrđeno je da sve analizirane vrste poseduju $TF > 1$ za B, što ukazuje da one transportuju i akumuliraju ovaj element u listovima. Slično, $TF > 1$ za Sr je izračunat kod svih vrsta na svim analiziranim lokalitetima, izuzev za *J. regia* za koju je utvrđen $TF > 1$ na četiri analizirana lokaliteta (Mojstrana, Vrhovo, Čatež, i Sremska Mitrovica). Takođe, *P. alba* i *S. alba* transportuju i akumuliraju Se u listovima ($TF > 1$).

Ispitivane vrste se sa druge strane ponašaju i kao ekskluderi pojedinih PTE ($BCF < 1$ i $TF < 1$). Naime, vrste *P. nigra*, *P. alba* i *J. regia* su ekskluderi Al, Cr, Fe i Ni. Dodatno, *J. regia* i *S. alba* se ponašaju kao ekskluderi Pb ($BCF < 1$ i $TF < 1$), *P. alba* je ekskluder Li i Pb, dok *U. glabra* isključuje usvajanje Cr na nivou korena i ponaša se kao ekskluder za ovaj element.

6. ZAKLJUČCI

Istraživanja sprovedena u okviru ove doktorske disertacije bila su usmerena u pravcu ispitivanja akumulacije i translokacije potencijalno toksičnih hemijskih elemenata (Al, As, B, Cd, Cr, Cu, Fe, Li, Mn, Ni, Pb, Se, Sr i Zn) u odabranim vrstama drvenastih biljaka (*S. alba*, *P. nigra*, *P. alba*, *U. glabra* i *J. regia*) u poplavnim šumama u obalnoj zoni reke Save. Istraživanja su obuhvatila analizu diverziteta biljnih vrsta na odabranim lokalitetima, analizu osnovnih fizičko-hemijskih karakteristika zemljišta i definisanje najvažnijih faktora koji utiču na usvajanje potencijalno toksičnih elemenata od strane odabranih vrsta biljaka, kao i određivanje njihovog potencijala za akumulaciju, indicaciju i fitoremedijaciju ovih elemenata. Istraživanja su obavljena na teritoriji Republika: Slovenije, Hrvatske i Srbije, na lokalitetima izloženim različitim izvorima zagađenja (Mojstrana, Radovljica, Litija, Vrhovo, Čatež, Zagreb, Jasenovac, Slavonski Brod, Županja, Sremska Mitrovica, Šabac i Beograd). Na osnovu sprovedenih istraživanja mogu se izvesti sledeći zaključci:

- Florističkim istraživanjima na istraživanom području je zabeleženo 268 vrsta biljaka klasifikovanih u 68 familija. Od ispitivanih vrsta, najzastupljenija je *S. alba* (na svih 12 lokaliteta), zatim *U. glabra* (na 10 lokaliteta), *P. nigra* (na 9 lokaliteta) i *J. regia* (na 7 lokaliteta), dok je najmanje zastupljena *P. alba* (na 4 lokaliteta). U biološkom spektru analizirane flore dominiraju hemikriptofite (40%), dok je udeo fanerofita (22%), terofita (20%) i geofita (17%) znatno niži. Na osnovu udela terofita u biološkom spektru može se zaključiti da je na istraživanom području izražen antropogeni uticaj koji dovodi do promene ekoloških uslova na staništima i dalje do njihove degradacije. Isto tako, u flori istraživanih lokaliteta zabeleženo je značajno prisustvo alohtonih vrsta (12,3 %) sa trendom povećanja brojnosti od izvora ka ušću reke, što je takođe pokazatelj rastućeg antropogenog uticaja u obalnoj zoni reke Save. U odnosu na različite ekološke faktore najzastupljenije ekološke grupe biljaka na istraživanom području su: submezofite, neutrofilne biljke, mezotrofne biljke, polusciofite i mezotermne biljke.
- Analiza granulometrijskog sastava je pokazala prisustvo različitih teksturnih klasa zemljišta u različitim delovima reke, i to: pesak (Litija), ilovasti pesak (Radovljica, Zagreb, Jasenovac) i peskovita ilovača (Mojstrana, Čatež, Vrhovo, Zagreb) na lokalitetima gornjeg i srednjeg dela rečnog toka. Na lokalitetima donjeg toka reke povećava se učešće praha i gline i smanjuje frakcija peska, zbog čega se javljaju ilovača (Slavonski Brod, Županja, Sremska Mitrovica), praškasta ilovača (Županja, Sremska Mitrovica, Šabac, Beograd) i praškasto glinovita ilovača (Beograd). Izmerena količina higroskopne vlage u zemljištima sa analiziranih lokaliteta je bila < 5,5 % koliko je izmereno u Mojstrani.
- Analiza hemijskih karakteristika zemljišta istraživanih lokaliteta je pokazala da se količina organskog ugljenika u uzorcima zemljišta kretala od 1,55% u donjem toku, do 20,63% u izvorišnom delu reke, dok je sadržaj N bio nizak, od 0,04% u Jasenovcu, do 1,34% u Mojstrani. Povoljan odnos C:N (<20) je ustanovljen u Mojstrani, i na lokalitetima u donjem delu toka (Županja, Sremska Mitrovica, Šabac i Beograd). Sa druge strane, visok odnos C:N je utvrđen u Radovljici, Litiji, Zagrebu i Jasenovcu, što može da bude značajno za imobilizaciju N u zemljištu. Generalno, vrednosti za kapacitet razmene katjona (CEC) za analizirana zemljišta su niske: od 0,48 cmol(+)/kg u Litiji, što se dovodi u vezu sa najnižim procentom sadržaja organske materije i čestica gline u teksturi zemljišta, do 8,92 cmol(+)/kg u Mojstrani, gde zemljište sadrži najveći procenat organske materije. U ukupnom kapacitetu katjonske razmene analiziranih zemljišta dominantni su bazni izmenljivi katjoni (Ca, Mg, K i Na). Na osnovu izmerenih vrednosti pH reakcije, ispitivana zemljišta su blago do umereno alkalna, dok u

odnosu na supstitucionu kiselost pripadaju grupi neutralnih do blago alkalnih zemljišta. Prema klasifikaciji zemljišta po salinitetu, sva analizirana zemljišta spadaju u grupu nezaslanjenih zemljišta.

- Analiza ukupnog sadržaja potencijalno toksičnih elemenata (Al, As, B, Cd, Cr, Cu, Fe, Li, Mn, Ni, Pb, Se, Sr, Zn) u zemljištima obalne zone reke Save, pokazala je na pojedinim lokalitetima veće koncentracije As, Cd, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb i Zn od vrednosti prirodnog fona ovih elemenata za istraživano područje. Izmeren je skoro dvostruko veći sadržaj As i Cd u Beogradu, Cr i Ni na lokalitetima od Županje do Beograda, Pb u Sremskoj Mitrovici i Beogradu, i Zn u Radovljici, Sremskoj Mitrovici, Šapcu i Beogradu. Slično tome, izmereni su dvostruko veći sadržaji Cu od vrednosti njegovog prirodnog fona za istraživano područje, i to u zemljištima na lokalitetima Sremska Mitrovica, Šabac i Beograd, dok je na lokalitetu Čatež sadržaj ovog elementa višestruko povećan. Ovi rezultati ukazuju na značajan antropogeni pritisak u pojedinim delovima reke, posebno u srednjem i donjem delu rečnog toka, pri čemu se lokalno zagađenje zemljišta napred pomenutim elementima može potencijalno odraziti i na funkcionisanje biljaka u obalnoj zoni reke Save.
- Istraživanja su pokazala da se ukupan sadržaj Al i Fe u zemljištu, generalno smanjuje sa povećanjem dubine, dok se sadržaj As, Cr i Zn povećava sa povećanjem dubine zemljišta. Ukupan sadržaj Al, As, B, Cd, Cr, Fe, Li, Mn i Ni u zemljištu povećavao se nizvodno, od izvora ka ušću. Od ispitivanih lokaliteta se naročito izdvaja Beograd, gde su izmereni najviši sadržaji Al, As, B, Cd, Fe, Li, Pb i Zn na svim analiziranim dubinama zemljišta (0-10 cm; 0-30 cm; 30-60 cm).
- Prema dobijenim rezultatima, sadržaj potencijalno toksičnih elemenata u zemljištu u kritičnom opsegu za biljke je izmeren za: As ($20-50 \text{ mg kg}^{-1}$) na lokalitetu Beograd; Cr ($>100 \text{ mg kg}^{-1}$) na lokalitetima u donjem toku reke, od Županje do Beograda; Ni ($> 100 \text{ mg kg}^{-1}$) na lokalitetima Županja, Šabac i Beograd; Zn ($70-400 \text{ mg kg}^{-1}$) na većini lokaliteta i Cu ($60-125 \text{ mg kg}^{-1}$) na lokalitetu Beograd, kao i u Čatežu, gde višestruko premašuje ovaj opseg sa maksimalnom prosečnom koncentracijom od 382 mg kg^{-1} .
- Analiza DTPA biodostupnog sadržaja potencijalno toksičnih elemenata pokazuje da je sadržaj DTPA frakcija svih analiziranih elemenata ispod kritičnog opsega za biljke na svim ispitivanim lokalitetima, izuzev DTPA frakcije Cu koja je u kritičnom opsegu za biljke na lokalitetu Čatež. Vrednosti koeficijenta dostupnosti su bile niske za Al, As, B, Fe, Li, Mn, Ni, Sr i Zn ($<10\%$), što ukazuje na njihovu nisku potencijalnu fitotoksičnost. Udeo dostupnih frakcija Cu i Pb je na pojedinim lokalitetima $>20\%$ (Cu na lokalitetima Mojstrana, Radovljica, Čatež, Slavonski Brod i Beograd; Pb na lokalitetima Radovljica, Litija, Vrhovo i Čatež). Visoka dostupnost ($>40\%$) i potencijalna toksičnost Cd je utvrđena na lokalitetu Beograd. Specifične fizičko-hemijske karakteristike zemljišta u obalnoj zoni reke Save, pre svega pH reakcija, utiču na dostupnost esencijalnih elemenata (B, Cu, Fe, Mn i Zn) biljkama.
- Istraživanja su pokazala da se DTPA biodostupan sadržaj As i Mn u zemljištu generalno smanjuje sa povećanjem dubine, dok se sadržaj Zn povećava sa povećanjem dubine zemljišta. Dostupni sadržaj As, B, Cd, Mn, Pb, Sr i Zn u zemljištu, povećavao se nizvodno, dok se sadržaj dostupnog Al smanjivao od izvora ka ušću reke Save.
- Rezultati merenja sadržaja ispitivanih hemijskih elemenata u odabranim drvenastim vrstama biljaka su pokazali heterogenost u pogledu akumulacije, što navodi na zaključak da je akumulacija potencijalno toksičnih hemijskih elemenata specifična za vrstu. Utvrđen je sledeći gradijent između ispitivanih vrsta biljaka u odnosu na izmeren sadržaj elemenata u korenu:

- Al: *U. glabra*>*J. regia*>*S. alba*>*P. alba*>*P. nigra*
- As: *S. alba*>*U. glabra*>*J. regia*>*P. alba*>*P. nigra*
- B: *J. regia*>*P. nigra*>*U. glabra*>*S. alba*>*P. alba*
- Cd: *S. alba*>*P. alba*>*P. nigra*>*U. glabra*>*J. regia*
- Cr: *J. regia*>*U. glabra*>*P. alba*>*P. nigra*>*S. alba*
- Cu: *S. alba*>*U. glabra*>*P. nigra*>*P. alba*>*J. regia*
- Fe: *U. glabra*>*P. alba*>*S. alba*>*P. nigra*>*J. regia*
- Li: *U. glabra*>*P. alba*>*S. alba*>*J. regia*>*P. nigra*
- Mn: *S. alba*>*P. alba*>*U. glabra*>*P. nigra*>*J. regia*
- Ni: *P. alba*>*S. alba*>*U. glabra*>*P. nigra*>*J. regia*
- Pb: *P. alba*>*U. glabra*>*S. alba*>*P. nigra*>*J. regia*
- Se: *U. glabra*>*J. regia*>*S. alba*>*P. nigra*>*P. alba*
- Sr: *J. regia*>*P. nigra*>*U. glabra*>*P. alba*>*S. alba*
- Zn: *S. alba*>*P. nigra*>*P. alba*>*J. regia*>*U. glabra*

Utvrđen je i sledeći gradijent između ispitivanih vrsta biljaka u odnosu na izmeren sadržaj elemenata u listovima:

- Al: *U. glabra*>*S. alba*>*J. regia*>*P. alba*>*P. nigra*
- As: *J. regia*>*U. glabra*>*P. nigra*>*S. alba*>*P. alba*
- B: *P. alba*>*S. alba*>*J. regia*>*P. nigra*>*U. glabra*
- Cd: *P. alba*>*S. alba*>*P. nigra*>*U. glabra*>*J. regia*
- Cr: *J. regia*>*S. alba*>*U. glabra*>*P. alba*>*P. nigra*
- Cu: *S. alba*>*U. glabra*>*P. nigra*>*J. regia*>*P. alba*
- Fe: *U. glabra*>*S. alba*>*J. regia*>*P. alba*>*P. nigra*
- Li: *S. alba*>*U. glabra*>*J. regia*>*P. nigra* = *P. alba*
- Mn: *S. alba*>*P. alba*>*P. nigra*>*J. regia*>*U. glabra*
- Ni: *U. glabra*>*S. alba*>*P. alba*>*J. regia*>*P. nigra*
- Pb: *U. glabra*>*S. alba*>*P. alba*>*J. regia*>*P. nigra*
- Se: *S. alba*>*J. regia*>*U. glabra*>*P. alba*>*P. nigra*
- Sr: *P. alba*>*S. alba*>*P. nigra*>*J. regia*>*U. glabra*
- Zn: *S. alba*>*P. alba*>*P. nigra*>*U. glabra*>*J. regia*

•Vrsta *S. alba* je akumulirala u toksičnim nivoima As, Cd, Cr, Fe, Li, Ni, Sr i Zn u korenu, i As, B, Cr, Fe, Li, Ni, Se, Sr i Zn u listovima. Toksični nivoi navedenih elemenata su akumulirani uglavnom na lokalitetima donjeg toka reke Save. Takođe utvrđen je deficit esencijalnih elemenata, uglavnom na lokalitetima gornjeg i srednjeg dela toka, i to: B, Cu, Fe, Mn i Zn u korenu, i Cu, Fe i Mn u listovima ove vrste. U poređenju sa ostalim ispitivanim vrstama, *S. alba* je najbolji bioindikator sadržaja potencijalno toksičnih elemenata u zemljištu. Naime, merenjem sadržaja Al, B, Cu, Mn, Ni i Zn u listovima može se proceniti sadržaj ovih elemenata u zemljištu, dok se merenjem sadržaja svih potencijalno toksičnih elemenata u korenu (izuzev Sr), takođe može proceniti njihov sadržaj u zemljištu. Na osnovu analize biokoncentracionog i translokacionog faktora utvrđen je potencijal *S. alba* za fitostabilizaciju Cd na lokalitetima u donjem toku, kao i potencijal za fitoekstrakciju Zn samo na lokalitetu Zagreb. Ipak, imajući u vidu da *S. alba* u Zagrebu akumulira normalan nivo Zn u listovima, upotreba ove vrste u fitoekstrakciji ovog elementa može biti ograničena. Dodatno, ova vrsta se ponaša i kao ekskluder Pb.

•Vrsta *P. nigra* je akumulirala u toksičnim nivoima As, Cr, Fe, Li i Sr u korenu, i B, Sr i Zn u listovima. Takođe utvrđen je deficit esencijalnih elemenata na lokalitetima duž čitavog toka, i to: B, Cu, Mn i Zn u korenu, i Cu, Fe, Mn i Zn u listovima ove vrste. Rezultati su pokazali da se *P. nigra* može koristiti u bioindikaciji pojedinih PTE. Naime, merenjem sadržaja As, Mn i Ni u listovima, kao i merenjem sadržaja B, Fe, Li, Mn, Ni i Pb u korenu, može se proceniti sadržaj ovih

elemenata u zemljištu. Na osnovu analize biokoncentracionog i translokacionog faktora utvrđen je potencijal *P. nigra* za fitostabilizaciju As samo na lokalitetu Vrhovo, kao i potencijal za fitoekstrakciju Cd na pojedinim lokalitetima u donjem toku reke, i Zn takođe na pojedinim lokalitetima u srednjem delu toka reke. Ipak, imajući u vidu da *P. nigra* ne akumulira toksične nivoe Cd u listovima, upotreba ove vrste u fitoekstrakciji Cd može biti ograničena. Dodatno, ova vrsta se ponaša kao ekskluder Al, Cr, Fe i Ni.

- Vrsta *P. alba* je akumulirala u toksičnim nivoima Cr, Fe, Li i Sr u korenu, i B, Sr i Zn u listovima. Takođe utvrđen je deficit esencijalnih elemenata: B i Cu u korenu, i Cu i Fe u listovima ove vrste. Rezultati su pokazali da se *P. alba* može koristiti u bioindikaciji pojedinih PTE. Merenjem sadržaja B, Cd, Cr, Fe, Mn, Ni i Zn u listovima, kao i merenjem sadržaja Cd u korenu, može se proceniti sadržaj ovih elemenata u zemljištu. Analiza biokoncentracionog i translokacionog faktora je pokazala potencijal *P. alba* za fitoremedijaciju Cd, što uključuje potencijal za fitostabilizaciju na lokalitetima Šabac i Beograd i potencijal za fitoekstrakciju na lokalitetu Sremska Mitrovica. Ipak, imajući u vidu da *P. alba* ne akumulira toksične nivoe Cd u korenu i listovima, upotreba ove vrste u fitoremedijaciji ovog elementa može biti ograničena. Takođe, ova vrsta se ponaša kao ekskluder Al, Cr, Fe, Li, Ni i Pb.

- Vrsta *U. glabra* je akumulirala u toksičnim nivoima As, Cr, Fe, Li, Se i Sr u korenu i listovima. Toksični nivoi navedenih elemenata su akumulirani uglavnom na lokalitetima srednjeg i donjeg toka reke Save. Utvrđen je deficit esencijalnih elemenata: B, Mn i Zn u korenu, i Mn i Zn u listovima ove vrste. Merenjem sadržaja B, Mn i Ni u listovima, kao i merenjem sadržaja As, Cd, Cr, Ni i Zn u korenu, može se proceniti sadržaj ovih elemenata u zemljištu. Vrednosti biokoncentracionog i translokacionog faktora su pokazale potencijal *U. glabra* za fitostabilizaciju Cd na lokalitetima u donjem toku reke, kao i potencijal za fitostabilizaciju As, Cu, Li i Pb na lokalitetu Jasenovac. Ipak, imajući u vidu da *U. glabra* ne akumulira toksične nivoe Cu i Pb u korenu, upotreba ove vrste u fitostabilizaciji ovih elemenata može biti ograničena. Pored toga, utvrđen je i potencijal ove vrste za fitoekstrakciju As, samo na lokalitetu Zagreb. Takođe vrsta *U. glabra* se ponaša i kao ekskluder Cr.

- Vrsta *J. regia* je akumulirala u toksičnim nivoima Cr, Fe, Li, Se i Sr u korenu, i As, Fe, Li, Se i Sr u listovima. U korenu i listovima ove vrste je utvrđen i deficit esencijalnih elemenata: Cu, Mn i Zn. Rezultati su pokazali da se *J. regia* može koristiti u bioindikaciji pojedinih PTE. Naime, merenjem sadržaja Al, B, Cd, Cr, Cu, Fe, Li, Mn, Ni, Pb i Zn u korenu, kao i sadržaja B u listovima, može se proceniti sadržaj ovih elemenata u zemljištu. Vrednosti biokoncentracionog i translokacionog faktora pokazuju potencijal vrste *J. regia* za fitostabilizaciju As, Cd i Sr na pojedinim lokalitetima. Ipak, imajući u vidu da *J. regia* ne akumulira toksične nivoe As i Cd u korenu, upotreba ove vrste u fitostabilizaciji ovih elemenata može biti ograničena. Dodatno, ova vrsta se ponaša kao ekskluder Al, Cr, Fe, Ni i Pb.

- Korelacione analize pokazuju da se ni jedna od ispitivanih vrsta ne može pouzdano koristiti u bioindikaciji Sr u obalnim zemljištima reke Save.

Rezultati ove doktorske disertacije doprinose utvrđivanju potencijala ispitivanih drvenastih vrsta biljaka za akumulaciju potencijalno toksičnih elemenata iz zemljišta u obalnoj zoni reke Save, kao i proširenju liste vrsta koje bi mogle da se koriste za bioindikaciju i monitoring zagađenja riparijalnih zemljišta. Dodatno, dobijeni rezultati pomažu selekciji biljnih vrsta koje se mogu koristiti za obnavljanje degradovanih poplavnih šuma, a time i za kreiranje strategija ekološkog obnavljanja degradovanih ekosistema u obalnoj zoni reke Save, ali i drugih velikih reka na području Srbije i drugih regiona Evrope.

7. LITERATURA

- Adriano DC (2001).** *Trace elements in terrestrial environments. Biogeochemistry, bioavailability and risk of metals.* Springer, New York.
- Adriano DC, Wenzel WW, Vangronsveld J, Bolan NS (2004).** Role of assisted natural remediation in environmental cleanup. *Geoderma*, 122:121–142. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2004.01.003>
- Aichele D, Golte-Bechtle M (1997).** *Was blüht denn da? Wildwachsende Blütenpflanzen Mitteleuropas.* Kosmos, Stuttgart.
- Akan JC, Audu SI, Mohammed Z, Ogugbuaja VO (2013).** Assessment of heavy metals, pH, Organic matter and organic carbon in road- side soils in Makurdi Metropolis, Benue State, Nigeria. *J Environ Prot*, 4(6):18–628. <https://doi.org/10.4236/jep.2013.46071>
- Alexandrino K, Viteri F, Rybarczyk Y, Guevara Andino JE, Zalakeviciute R (2020).** Biomonitoring of metal levels in urban areas with different vehicular traffic intensity by using *Araucaria heterophylla* needles. *Ecol Indic*, 117(March): 106701. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106701>
- Algreen M, Trapp S, Rein A (2014).** Phytoscreening and phytoextraction of heavy metals at Danish polluted sites using willow and poplar trees. *Environ Sci Pollut Res*, 21: 8992–9001. <https://doi.org/10.1007/s11356-013-2085-z>
- Ali H, Khan E, Sajad MA (2013).** Phytoremediation of heavy metals-Concepts and applications. *Chemosphere*, 91(7): 869–881. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.01.075>
- Alloway BJ (1995).** *Heavy metals in soils.* Blackie Academy and Profession, London. <http://dx.doi.org/10.1007/978-94-011-1344-1>
- Alloway BJ (2013).** *Heavy metals in soils. Trace metals and metaloids in soils and their bioavailability.* Environmental Pollution (22), third edition. Springer, New York.
- Antić M, Joviš N, Avdaloviš V (1982).** *Pedologija.* Naučna knjiga. Beograd.
- Antonijević MM, Dimitrijević MD, Milić SM, Nujkić MM (2012).** Metal concentrations in the soils and native plants surrounding the old flotation tailings pond of the Copper Mining and Smelting Complex Bor (Serbia). *J Environ Monit*, 14(3): 866–877. <https://doi.org/10.1039/c2em10803h>
- Arik F, Yaldiz T (2010).** Heavy metal determination and pollution of the soil and plants of southeast Tavşanlı (Kütahya, Turkey). *Clean (Weinh)*, 38(11): 1017–1030. <https://doi.org/10.1002/clen.201000131>
- Arpadjan S, Momchilova S, Elenkova D, Blagoeva E (2013).** Essential and toxic microelement profile of walnut (*Juglans regia* L.) cultivars grown in industrially contaminated area - Evaluation for human nutrition and health. *J Food Nutr Res*, 52(2): 121–127.
- Assylbekova G (2013).** Estimation of chemical composition of the ashes from black poplar *Populus nigra* L. leaves in the urban ecosystem of pavlodar. *World Appl Sci J*, 21(9): 1309–1315. <https://doi.org/10.5829/idosi.wasj.2013.21.9.2925>
- Atterberg A (1911).** Die Plastizität der Tone. *Int Mitt Bodenkd*, (1): 10-43.
- Bai J, Jia J, Zhang G, Zhao Q, Lu Q, Cui B, Liu X (2016).** Spatial and temporal dynamics of heavy metal pollution and source identification in sediment cores from the short-term flooding riparian wetlands in a Chinese delta. *Environ Pollut*, 2019: 379–388. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.05.016>

- Baize D (1997).** Teneurs Totales En éléments Traces Dans Les Sols. I.N.R.A, Paris
- Baker AJ (1981).** Accumulators and Excluders Strategies in Response of Plants to Heavy Metals. *J Plant Nutr*, 3(1-4): 643-654. <https://doi.org/10.1080/01904168109362867>
- Baker AJ, Walker PI (1990).** Ecophysiology of metal uptake by tolerant plants. In: Shaw AJ (Ed.), *Heavy metal tolerance in plants; evolutionary aspects*. Florida: CRC Press. pp. 155–178.
- Baker AJ, McGrath SP, Reeves RD, Smith JA (2000).** Metal hyperaccumulator plants: a review of the ecology and physiology of a biological resource for phytoremediation of metal polluted soils. In: Terry N, Banuelos G (Eds.) *Phytoremediation of contaminated soil and water*. CRC Press, Boca Raton, pp 85–107.
- Baldantoni D, Cicatelli A, Bellino A, Castiglione S (2014).** Different behaviours in phytoremediation capacity of two heavy metal tolerant poplar clones in relation to iron and other trace elements. *J Environ Manage*, 146: 94–99. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.07.045>
- Bañuelos GS (2020).** Factors influencing field phytoremediation of selenium-laden soils. In: Terry N, Bañuelos GS (Eds.). *Phytoremediation of Contaminated Soil and Water*. Boca Raton, FL: CRC Pr. p 41–59.
- Baslar S, Dogan Y, Yenil N, Karagoz S, Bag H (2005).** Trace element biomonitoring by leaves of *Populus nigra* L. from Western Anatolia, Turkey. *J Environ Biol*, 26(4): 665-668.
- Baslar S, Kula I, Dogan Y, Yildiz D, Ay G (2009).** A Study of Trace Element Contents in Plants Growing at Honaz Dagi-Denizli, Turkey. *Ekoloji*, 18(72): 1–7. <https://doi.org/10.5053/ekoloji.2009.721>
- Bedell JP, Capilla X, Giry C, Schwartz C, Morel JL, Perrodin Y (2009).** Distribution, movement and availability of Cd and Zn in a dredged sediment cultivated with *Salix alba*. *Environ Exp Bot* 67(2): 403–414. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2009.08.001>
- Berlizov AN, Blum OB, Filby RH, Malyuk IA, Tryshyn VV (2007).** Testing applicability of black poplar (*Populus nigra* L.) bark to heavy metal air pollution monitoring in urban and industrial regions. *Sci Total Environ*, 372: 693–706. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2006.10.029>
- Bhargava A, Carmona FF, Bhargava M, Srivastava S (2012).** Approaches for enhanced phytoextraction of heavy metals. *J Environ Manage*, 105: 103–120. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.04.002>
- Blume HP, Brümmer G (1987).** Prognose des Verhaltens von Schwermetallen in Böden mit einfachen Feldmethoden, *Mitt Dtsh Bodenkundl Ges*, 53: 111.
- Boršić I, Milović M, Dujmović I, Bogdanović S, Cigić P, Rešetnik I, Nikolić T, Mitić B (2008).** Preliminary check-list of invasive alien plant species (IAS) in Croatia. *Natura Croatica*, 17(2): 55–71.
- Bowen HJM, Dymond JA (1955).** Strontium and Barium in Plants and Soils. *P Roy Soc B-Biol Sci*, 144(916):355-368. <https://doi.org/10.1098/rspb.1955.0063>
- Braun-Blanquet J (1964).** Pflanzensoziologie. Grundzüge der Vegetationskunde. 3 Aufl. Springer, Wien, N. Y.
- Brown PH, Shlep PJ (1997).** Boron mobility in plants. *Plant and Soil*, 193(1-2): 85-101. https://doi.org/10.1007/978-94-011-5580-9_7
- Budzyńska S, Mleczek M, Goliński P, Rutkowski P, Niedzielski P (2017).** The influence of As forms in substrate on the phytoextraction of this metalloid in *Ulmus laevis* Pall organs – Pot experiment. *Microchem J*, 132: 333–340. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2017.01.030>

- Chen L, Gao S, Zhu P, Liu Y, Hu T, Zhang J (2014).** Comparative study of metal resistance and accumulation of lead and zinc in two poplars. *Plant Physiol*, 151: 390–405. <https://doi.org/10.1111/ppl.12120>
- Chen M, Tang Y.L, Ao J, Wang D (2012).** Effects of strontium on photosynthetic characteristics of oilseed rape seedlings. *Russ. J. Plant Physiol*, 59(6): 772–780. <https://doi.org/10.1134/S1021443712060052>
- Christenhusz MJM, Byng JW (2016).** The number of known plants species in the world and its annual increase. *Phytotaxa*, 261(3): 201–217. <http://dx.doi.org/10.11646/phytotaxa.261.3.1>
- Christie, T, Braithwaite, B, Johnston, M (1999).** Mineral commodity report 19 – Beryllium, gallium, lithium, magnesium, uranium and zirconium. *New Zealand mining*, 26: 27–42.
- Clemens S (2006).** Toxic metal accumulation, responses to exposure and mechanisms of tolerance in plants. *Biochimie*, 88: 1707–1719. <https://doi.org/10.1016/j.biochi.2006.07.003>
- Coccosis H (2004).** Integrated coastal management and river basin management. *Water Air Soil Pollut Focus*, 4:411. <https://doi.org/10.1023/B:WAFO.0000044814.44438.81>
- Collins AL, Hughes G, Zhang Y, Whitehead J (2009).** Mitigating diffuse water pollution from agriculture: Riparian buffer strip performance with width. *CAB Rev: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources* 4(039): 1-15. <https://doi.org/10.1079/PAVSNNR20094039>
- Cosmulescu S, Baciú A, Achim G, Botu M, Trandafir I (2009).** Mineral composition of fruits in different walnut (*Juglans regia* L.) cultivars. *Not Bot Horti Agrobot Cluj Napoca*, 37(2): 156–160. <https://doi.org/10.15835/nbha3723169>
- Council Directive 92/43/EEC** The Habitats Directive - Council Directive of 21 May 1992 on the conservation of natural habitats and of wild fauna and flora. Official Journal of the European Communities, European Union, Brussels **22.7.1992**, OJ L 206, pp. 7 – 50.
- Čakmak D, Perović V, Antić-Mladenović S, Kresović M, Saljnikov E, Mitrović M, Pavlović P (2018).** Contamination, risk, and source apportionment of potentially toxic microelements in river sediments and soil after extreme flooding in the Kolubara River catchment in Western Serbia. *J Soils Sediments*, 18(5): 1981–1993. <https://doi.org/10.1007/s11368-017-1904-0>
- Čanak M, Parabučki S, Kojić M (1978).** *Ilustrovana korovska flora Jugoslavije*. Matica srpska, Odeljenje za prirodne nauke, Novi Sad.
- Décamps H, Naiman RJ, McClain ME (2009).** Riparian Zones. In: Likens, G.E (Ed.), *Encyclopedia of Inland Waters*. Elsevier Inc. pp. 396-403 <http://dx.doi.org/10.1016/B978-012370626-3.00053-3>
- Diklić M (1984).** Životne forme biljnih vrsta i biološki spektar flore SR Srbije. In: Sarić, M. R (Ed.) *Vegetacija SR Srbije*, I. *Opšti deo*. SANU, Beograd, pp 291-316.
- Djingova R, Wagner G, Kuleff I (1999).** Screening of heavy metal pollution in Bulgaria using *Populus nigra* “*Italica*”. *Sci Total Environ*, 234(1–3): 175–184. [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(99\)00257-0](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(99)00257-0)
- Dogan Y, Unver M.C, Ugulu I, Calis M, Durkan N (2014).** Heavy metal accumulation in the bark and leaves of *Juglans regia* planted in Artvin city, Turkey. *Biotechnol Biotechnol Equip*, 28(4): 643–649. <https://doi.org/10.1080/13102818.2014.947076>
- Domínguez MT, Alegre JM, Madejón P, Madejón E, Burgos P, Cabrera F, Marañón T, Murillo JM (2016).** River banks and channels as hotspots of soil pollution after large-scale remediation of a river basin. *Geoderma*, 261: 133–140. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2015.07.008>

- Domínguez MT, Marañón T, Murillo JM, Schulin R, Robinson BH (2008).** Trace element accumulation in woody plants of the Guadiamar Valley, SW Spain: A large-scale phytomanagement case study. *Environ Pollut*, 152(1): 50–59. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2007.05.021>
- Du Rietz GE (1931).** Life-forms of terrestrial flowering plants. *Acta Phytogeogr Suec*, 3(1): 1-95.
- Dufour S, Rodríguez-González PM, Laslier M (2019).** Tracing the scientific trajectory of riparian vegetation studies: Main topics, approaches and needs in a globally changing world. *Sci Total Environ*, 653: 1168–1185. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.383>
- Durand TC, Hausman JF, Carpin S, Alberic P, Baillif P, Label P, Morabito D (2010).** Zinc and cadmium effects on growth and ion distribution in *Populus tremula* × *Populus alba*. *Biol Plant*, 54(1): 191–194. <https://doi.org/10.1007/s10535-010-0033-z>
- Dvořák J, Novák L (1994).** Chapter 2 Erosion of the Soil. In: Dvořák J, Novák L (Eds.) *Developments in Soil Science Vol 23*, Elsevier, pp 25-38.
- Đelić G, Timotijević S, Simić Z (2018).** Uptake and distribution of metals in *Populus nigra* and *Populus tremula*. *Acta Agriculturae Serbica*, 23(46): 167–176. <https://doi.org/10.5937/aaser1846167d>
- Ellenberg H (1979).** Zeigerwerte der GefäÙpflanzen Mitteleuropas. 2. Aufl. *Scripta geobotanica* 9.
- Ernst W (1996).** Bioavailability of heavy metals and decontamination of soils by plants. *Appl Geochem*, 11: 163–167. [https://doi.org/10.1016/0883-2927\(95\)00040-2](https://doi.org/10.1016/0883-2927(95)00040-2)
- Ernst W (2006).** Evolution of metal tolerance in higher plants. *Forest Snow and Landscape Research*, 80(3): 251–274. Retrieved from <http://www.wsl.ch/dienstleistungen/publikationen/pdf/7764.pdf>
- Esmailzadeh J, Ahangar A.G (2014).** Influence of soil organic matter content on soil physical, chemical and biological properties. *Int J Plant Anim Environ Sci*, 4(4): 244–255.
- Esri Inc. (2016)** ArcMap (version 10.5). Software. Esri Inc, Redlands, CA. <https://www.esri.com>
- Fan J, He Z, Ma LQ, Stoffella PJ (2011).** Accumulation and availability of copper in citrus grove soils as affected by fungicide application. *J Soils Sediments*, 11(4): 639–648. <https://doi.org/10.1007/s11368-011-0349-0>
- FAO Soils Bulletin (2005).** The importance of soil organic matter, Key to drought-resistant soil and sustained food production. Bot A, Benites J (Eds.). Food and agriculture organization of the United Nations, Rome, Italy.
- Farrah H, Hatton D, Pickering WF (1980).** Affinity of metal-ions for clay surfaces. *Chem Geol*, 28(1–2): 55–68.
- Feizi M, Jalali M (2015).** Removal of heavy metals from aqueous solutions using sunflower, potato, canola and walnut shell residues. *J Taiwan Inst Chem Eng*, 54: 125–136. <https://doi.org/10.1016/j.jtice.2015.03.027>
- Fernández-Aláez C, Fernández-Aláez M, García-Criado F (2005).** Spatial distribution pattern of the riparian vegetation in a basin in the NW Spain. *Plant Ecol*, 179(1): 31–42. <https://doi.org/10.1007/s11258-004-5702-6>
- Fitz WJ, Wenzel WW (2002).** Arsenic transformations in the soil-rhizosphere-plant system: fundamentals and potential application to phytoremediation. *J Biotechnol*, 99: 259-78.
- Frémion F, Bordas F, Mourier B, Lenain JF, Kestens T, Courtin-Nomade A (2016).** Influence of dams on sediment continuity: A study case of a natural metallic contamination. *Sci. Total Environ*, 547: 282–294. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.01.023>

- Fuentes A, Llorens M, Saez J, Aguilar MI, Perezmarin AB, Ortuno JF, Meseguer VF (2006).** Ecotoxicity, phytotoxicity and extractability of heavy metals from different stabilised biosolids. *Environ Pollut*, 143: 355-360. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2005.11.035>
- Funk VA, Susanna A, Stuessy TF, Robinson H (2009).** Classification of Compositae. In: Funk VA, Susanna A, Stuessy T, Bayer R (Eds.) *Systematics, evolution and biogeography of the Compositae*. IAPT, Vienna, pp 171–189.
- Gajić G (2014).** Ekofiziološke adaptacije odabranih vrsta zeljastih biljaka na deponiji pepela termoelektrane „Nikola Tesla – A“ u Obrenovcu. Doktorska disertacija. Biološki fakultet, Univerzitet u Beogradu, Beograd.
- Gajić G, Djurdjević L, Kostić O, Jarić S, Mitrović M, Stevanović B, Pavlović P (2016).** Assessment of the phytoremediation potential and an adaptive response of *Festuca rubra* L. sown on fly ash deposits: Native grass has a pivotal role in ecorestoration management. *Ecol Eng*, 93: 250–261. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.05.021>
- Gajić G, Djurdjević L, Kostić O, Jarić S, Stevanović B, Mitrović M, Pavlović P (2020).** Phytoremediation Potential, Photosynthetic and Antioxidant Response to Arsenic-Induced Stress of *Dactylis glomerata* L. Sown on Fly Ash Deposits. *Plants (Basel)*, 9(5):657. <https://doi.org/10.3390/plants9050657>
- Gajić G, Mitrović M, Pavlović P, Stevanović B, Djurdjević L, Kostić O (2009).** An assessment of the tolerance of *Ligustrum ovalifolium* Hassk. to traffic-generated Pb using physiological and biochemical markers. *Ecotoxicol Environ Saf*, 72(4): 1090–1101. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2009.01.010>
- Gaudet M, Pietrini F, Beritognolo I, Iori V, Zacchini M, Massacci A, Mugnozza GS, Sabatti, M (2011).** Intraspecific variation of physiological and molecular response to cadmium stress in *Populus nigra* L. *Tree Physiol*, 31: 1309–1318. <https://doi.org/10.1093/treephys/tpr088>
- Gawlik BW, Bidoglio G (2006).** Background values in European soils and sewage sludges PART III, Conclusions, comments and recommendations. European Commission, Directorate-General Joint Research Centre, Institute for Environment and Sustainability (Directive 86/278/EEC) <https://publications.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/f7081979-a8dc-4c2d-a7eb-63b4dfdd9b83/language-en>. Accessed 16 March 2019
- Ghaderian SM, Ghotbi Ravandi AA (2012).** Accumulation of copper and other heavy metals by plants growing on Sarcheshmeh copper mining area, Iran. *J Geochem Explor*, 123: 25–32. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2012.06.022>
- Gorelova SV, Frontasyeva MV (2017).** The Use of Higher Plants in Biomonitoring and Environmental Bioremediation. In: Ansari AA, Gill SS, Gill R, Lanza GR, Newman L (Eds.), *Phytoremediation: Management of Environmental Contaminants*, Volume 5 (pp. 103–155). Cham: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-52381-1_5
- Grba N, Neubauer F, Sajnovic A, Stojanovic K, Jovancicevic B (2015).** Heavy metals in neogene sedimentary rocks as a potential lithogenic hazard for sediment, soil, surface and groundwater contamination (Eastern Posavina and Lopare Basin, Bosnia and Herzegovina). *J Serb Chem Soc*, 80: 827–838.
- Gumiero B, Maiolini B, Rinaldi M, Surian N, Boz B, Moroni F (2009).** The Italian Rivers. In: *Rivers of Europe*, Tockner T, Uehlinger U, Robinson C.T (Eds.). Elsevier Ltd. pp. 467-495 <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-369449-2.00012-6>
- Hafeez B, Khanif YM, Saleem M (2013).** Role of Zinc in Plant Nutrition-A Review. *Am J Exp Agric*, 3(2): 374-391. <https://doi.org/10.5281/zenodo.8225>

- Hagemann N, Harter J, Behrens S (2016).** Elucidating the Impacts of Biochar Applications on Nitrogen Cycling Microbial Communities. In: Komang Ralebitso-Senior T, Orr C.H (Eds.) *Biochar Application*. Elsevier Ltd. pp. 163-198 <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803433-0.00007-2>
- Halamić J, Galović L, Šparica M (2003).** Heavy metal (As, Cd, Cu, Hg, Pb and Zn) distribution in topsoil developed on alluvial sediments of the Drava and Sava Rivers in NW Croatia. *Geol Croat*, 56: 215–232. <https://doi.org/10.4154/GC.2003.14>
- Hammer D, Kayser A, Keller C (2003).** Phytoextraction of Cd and Zn with *Salix viminalis* in field trials. *Soil Use Manage*, 19(3): 187–192. <https://doi.org/10.1079/sum2002183>
- Han Y, Ni Z, Li S, Qu M, Tang F, Mo R, Ye C, Liu Y (2018).** Distribution, relationship, and risk assessment of toxic heavy metals in walnuts and growth soil. *Environ Sci Pollut Res*, 25(18): 17434–17443. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-1896-3>
- Hegi G (1966).** *Illustrierte flora von Mitel-Europa*. München.
- Hughes F, Richards K (2003).** The Flooded Forest: Guidance for Policy Makers and River Managers in Europe on the Restoration of Floodplain Forests. Result of FLOBAR2 Project. Department of Geography, University of Cambridge, Cambridge, United Kingdom.
- Hutchinson TC (1979).** Effects of Cadmium in the Canadian Environment. National Research Council of Canada (NRCC), Ottawa NRCC 16743.
- Idrees N, Tabassum B, Abd Allah E.F, Hashem A, Sarah R, Hashim M (2018).** Groundwater contamination with cadmium concentrations in some West U.P. Regions, India. *Saudi J Biol Sci*, 25(7): 1365–1368. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2018.07.005>
- ISRBC (2009).** Sava River Basin analysis report. http://www.savacommission.org/dms/docs/dokumenti/documents_publications/publications/other_publications/sava_river_basin_analysis_report_high_res.pdf Accessed 19 April 2019
- ISRBC (2016).** Towards practical guidance for sustainable sediment management using the Sava River basin as a showcase. Estimation of sediment balance for the Sava River. http://www.savacommission.org/dms/docs/dokumenti/documents_publications/publications/other_publications/baleses_final.pdf Accessed 19 April 2019
- Jakovljević MD, Kostić NM, Stevanović D, Blagojević S, Wilson MJ, Martinović L (1997).** Factors influencing the distribution of heavy metals in the alluvial soils of the Velika Morava River Valley, Serbia. *Appl Geochem*, 12(5): 637–642. [https://doi.org/10.1016/S0883-2927\(97\)00019-X](https://doi.org/10.1016/S0883-2927(97)00019-X)
- Jarić S (2009).** Alohtone biljne vrste u prirodnim i antropogeno uslovljenim fitocenozama Srema. Doktorska disertacija. Poljoprivredni fakultet, Univerzitet u Beogradu, Beograd.
- Jarić S, Karadžić B, Mataruga Z, Kostić O, Mitrović M, Pavlović P (2019).** Alohtone biljne vrste u flori i vegetaciji Crnog luga (jugozapadni Srem). *Acta herbol*, 28(1): 31-58. <https://doi.org/10.5937/ActaHerb1901031J>
- Javorka S, Csapody V (1975).** *Iconographia Florae Partis Austro-Orientalis Europae Centralis*. Akademiai Kiado, Budapest.
- Jerolmack DJ, Brzinski TA (2010).** Equivalence of abrupt grain size transitions in alluvial rivers and eolian sand seas: A hypothesis. *Geology*, 38(8): 719–722. <https://doi.org/10.1130/G30922.1>
- Josifović M (Ed.) (1970-1980).** Flora SR. Srbije I-X. SANU, Beograd.
- Jovanović B (1970).** Red *Juglandales*. In: Josifović M (Ed.), *Flora Srbije*. Beograd: Knjiga II, Srpska Akademija Nauka i Umetnosti.

- Jovanović B, Tucović M (1972).** Red *Salicales*. In: Josifović M (Ed.), *Flora Srbije*. Beograd: Knjiga III, Srpska Akademija Nauka i Umetnosti.
- Kaasalainen M, Yli-Halla M (2003).** Use of sequential extraction to assess metal partitioning in soils. *Environ Pollut*, 126(2): 225–233. [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(03\)00191-X](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(03)00191-X)
- Kabata-Pendias A (2011).** *Trace Elements in Soils and Plants*. fourth ed. CRC Press, Boca Raton.
- Kabata-Pendias A, Mukherjee AB (2007).** *Trace elements from soil to human*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, New York.
- Kabata-Pendias A, Pendias H (2001).** *Trace elements in soils and plants*, CRC Press LLC, Boca Raton, London, New York, Washington.
- Kalkışım Ö, Ozdes D, Onaran A (2014).** Assessment Of Mineral Elements and Heavy Metal Contents Of Walnut Samples (*Juglans Regia L.*). *Adv Food Sci*, 36(1): 23–29.
- Karadžić B, Jarić S, Pavlović P, Mitrović M (2015).** Aquatic and wetland vegetation along the Sava River. In: Milačić R, Ščančar J, Paunović M (Eds.) *The Sava River*, Barceló D, Kostianoy AG (Eds-inChief), Handbook of Environmental Chemistry, Founded by O. Hutzinger, Springer, Dodrecht, Heidelberg, New York, London, pp. 249–317.
- Karrenberg S, Kollmann J, Edwards PJ, Gurnell AM, Petts GE (2003).** Patterns in woody vegetation along the active zone of a near-natural Alpine river. *Basic Appl Ecol*, 4(2): 157–166. <https://doi.org/10.1078/1439-1791-00123>
- Khan AG, Kuek C, Chaudhry TM, Khoo CS, Hayes WJ (2000).** Role of plants, mycorrhizae and phytochelators in heavy metal contaminated land remediation. *Chemosphere*, 41: 197–207. [https://doi.org/10.1016/s0045-6535\(99\)00412-9](https://doi.org/10.1016/s0045-6535(99)00412-9)
- Kladis G, Panitsa M, Tsiripidis I, Sarris D, Dimopoulos P (2011).** Vegetation ecology and diversity relationships in a riparian forest remnant of Western Greece. *J Biol Res*, 16: 237–254.
- Knežević M, Košanin O (2007).** *Praktikum iz pedologije*. Univerzitet u Beogradu, Šumarski fakultet, Beograd.
- Kojić M (1981).** *Određivanje korova u stadijumu klijanaca i njihovo suzbijanje herbicidima*. Nolit, Beograd.
- Kojić M (1986).** *Mala korovska flora*. Naučna knjiga, Beograd.
- Kojić M, Popović B, Karadžić B (1997).** *Vaskularne biljke Srbije kao indikatori staništa*. Institut za istraživanja u poljoprivredi „Srbija“, Institut za biološka istraživanja „Siniša Stanković“, Beograd.
- Kostić O (2014).** Ekofiziološke karakteristike nekih drvenastih vrsta biljaka i njihov potencijal za revitalizaciju deponije pepela termoelektrana. Doktorska disertacija. Šumarski fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd.
- Kostić O, Jarić S, Gajić G, Pavlović D, Pavlović M, Mitrović M, Pavlović P (2018).** Pedological properties and ecological implications of substrates derived 3 and 11 years after the revegetation of lignite fly ash disposal sites in Serbia. *Catena*, 163(2018): 78–88. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2017.12.010>
- Kowalska JB, Mazurek R, Gašiorek M, Zaleski T (2018).** Pollution indices as useful tools for the comprehensive evaluation of the degree of soil contamination—A review. *Environ Geochem Health*, 40: 2395–2420. <https://doi.org/10.1007/s10653-018-0106-z>
- Kuo S, Heilman PE, Baker AS (1983).** Distribution and forms of copper, zinc, cadmium, iron, and manganese in soils near a copper smelter. *Soil Sci*, 135(2): 101–109.

- Kuzovkina YA, Knee M, Quigley MF (2004).** Cadmium and copper uptake and translocation in five willow (*Salix* L.) species. *Int J Phytoremediation*, 6(3): 269–287. <https://doi.org/10.1080/16226510490496726>
- Laureysens I, de Temmerman L, Hastir T, van Gysel M, Ceulemans R (2005).** Clonal variation in heavy metal accumulation and biomass production in a poplar coppice culture. II. Vertical distribution and phytoextraction potential. *Environ Pollut*, 133(3): 541–551. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2004.06.013>
- Lazarević P, Stojanović V, Jelić I, Perić R, Krsteski B, Ajtić R, Sekulić N, Branović S, Sekulić G, Bjedov V (2012).** Preliminarni spisak invazivnih vrsta u Srbiji, sa opštim merama kontrole i suzbijanja kao potpora budućim zakonskim aktima. *Zaštita prirode*, 62: 5-31.
- Lehto T, Räisänen M, Lavola A, Julkunen-Tiitto R, Aphalo PJ (2004).** Boron mobility in deciduous forest trees in relation to their polyols. *New Phytol*, 163(2): 333–339. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2004.01105.x>
- Lettens S, Vandecasteele B, De Vos B, Vansteenkiste D, Verschelde P (2011).** Intra- and inter-annual variation of Cd, Zn, Mn and Cu in foliage of poplars on contaminated soil. *Sci Total Environ*, 409(11): 2306–2316. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2011.02.029>
- Leuven RSEW, Wijnhoven S, Kooistra L, de Nooij RJW, Huibregts MAJ (2005).** Toxicological constraints for rehabilitation of riverine habitats: a case study for metal contamination of floodplain soils along the Rhine. *Arch Hydrobiol*, 155: 657–676. <https://doi.org/10.1127/lr/15/2003/657>
- Li ZG, Zhang GS, Liu Y, Wan KY, Zhang RG, Chen F (2013).** Soil nutrient assessment for urban ecosystems in Hubei, China. *PLoS One*, 8(9): e75856.
- Lindsay WL, Norvell WA (1978).** Development of DTPA soil tests for zinc, iron, manganese and copper. *Soil Sci Soc Am J*, 42:421–428. <https://doi.org/10.2136/sssaj1978.03615995004200030009x>
- Little P (1973).** A Study of Heavy Metal Contamination of Leaf Surfaces. *Environ Pollut*, 5(3): 159-172. [https://doi.org/10.1016/0013-9327\(73\)90085-2](https://doi.org/10.1016/0013-9327(73)90085-2)
- Little P, Martin MH (1972).** A survey of zinc, lead and cadmium in soil and natural vegetation around a smelting complex. *Environ Pollut*, 3(3): 241–254. [https://doi.org/10.1016/0013-9327\(72\)90007-9](https://doi.org/10.1016/0013-9327(72)90007-9)
- Litvinov AS, Mineeva NM, Papchenkov VG, Korneva LG, Lazareva VI, Shcherbina GK, Gerasimov YV, Dvinskikh SA, Noskov VM, Kitaev AB, Alexevnina MS, Presnova EV, Seletkova EB, Zinov'ev EA, Baklanov MA, Okhapkin AG, Shurganova GV (2009).** Volga River Basin. In: *Rivers of Europe*, Tockner T, Uehlinger U, Robinson CT (Eds.). pp. 23-57. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-369449-2.00002-3>
- Liu J, Li K, Xu J, Zhang Z, Ma T, Lu X, Yang J, Zhu Q (2004).** Lead toxicity, uptake and translocation in different rice cultivars. *Plant Sci*, 165: 793-802. [https://doi.org/10.1016/S0168-9452\(03\)00273-5](https://doi.org/10.1016/S0168-9452(03)00273-5)
- Liu XH, Gao YT, Sardar K, Duan G, Chen AK, Ling L, Zhao L, Liu ZH, Wu XK (2008).** Accumulation of Pb, Cu, and Zn in native plants growing on contaminated sites and their potential accumulation capacity in Heqing, Yunnan. *J Environ Sci*, 20: 1469–1474. [https://doi.org/10.1016/S1001-0742\(08\)62551-6](https://doi.org/10.1016/S1001-0742(08)62551-6)
- Ma LQ, Komar KM, Tu C, Zhang W, Cai Y, Kennelley ED (2001).** A fern that hyperaccumulates arsenic. *Nature*, 409: 579. <https://doi.org/10.1038/35054664>
- Maas EV, Grattan SR (1999).** Crop yields as affected by salinity, agricultural drainage. In: Skaggs RW, van Schilfhaarde J (Eds.) *Agricultural Drainage*. Agron. Monogr. 38. ASA, CSSA, SSSA, Madison, WI. pp. 55–108 <https://doi.org/10.2134/agronmonogr38.frontmatter>

- Mabberley DJ (1997).** *The Plant-Book*. 2nd Edition, Cambridge University Press, Cambridge.
- Macklin MG, Lewin, J (1989).** Sediment transfer and transformation of an alluvial valley floor: the river South Tyne, Northumbria, U.K. *Earth Surf Process Landf*, 14: 233–246. <https://doi.org/10.1002/esp.3290140305>
- Macklin MG, Smith RS (1990).** Historic riparian vegetation development and alluvial metallophyte plant communities in the Tyne Basin, north-east England. In: Thorne JB (Ed.), *Vegetation and Erosion*. John Wiley and Sons Ltd, pp. 239–256.
- Madejón P, Marañón T, Murillo JM (2006).** Biomonitoring of trace elements in the leaves and fruits of wild olive and holm oak trees. *Sci Total Environ*, 355: 187–203. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2005.02.028>
- Madejón P, Marañón T, Murillo JM, Robinson B (2004).** White poplar (*Populus alba*) as a biomonitor of trace elements in contaminated riparian forests. *Environ Pollut*, 132(1): 145–155. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2004.03.015>
- Madejón P, Marañón T, Navarro-Fernández C.M, Domínguez MT, Alegre JM, Robinson B, Murillo JM (2017).** Potential of *Eucalyptus camaldulensis* for phytostabilization and biomonitoring of trace element contaminated soils. *PLoS ONE*, 12(6): 1–22. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0180240>
- Malanson GP (1993).** *Riparian landscapes*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Markert BA, Breure AM, Zechmeister HG (2003).** Definitions, strategies and principles for bioindication/biomonitoring of the environment. In: Markert BA, Breure AM, Zechmeister H.G (Eds.), *Bioindicators and Biomonitors*. Elsevier Science, Amsterdam, pp. 3-39.
- Markovics R, Kanduč T, Szramek K, Golobočanin D, Milačič R, Ogrinc N (2010).** Chemical dynamics of the Sava riverine system. *J Environ Monit*, 12: 2165–2176. <https://doi.org/10.1039/COEM00121J>
- Marković M, Zuliani T, Belanović-Simić S, Mataruga Z, Kostić O, Jarić S, Vidmar J, Milačič R, Ščančar J, Mitrović M, Pavlović P (2018).** Potentially toxic elements in the riparian soils of the Sava River. *J Soils Sediments*, 18(12): 3404–3414. <https://doi.org/10.1007/s11368-018-2071-7>
- Marmioli M, Antonioli G, Maestri E, Marmioli N (2005).** Evidence of the involvement of plant ligno-cellulosic structure in the sequestration of Pb: An X-ray spectroscopy-based analysis. *Environ Pollut*, 134(2): 217–227. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2004.08.004>
- Marmioli N, Maestri E, Antonioli G, Conte C, Monciardini P, Marmioli M, Mucchino C (1999).** Application of synchrotron radiation X-ray fluorescence (m-SRXF) and X-ray microanalysis (SEM/EDX) for the quantitative and qualitative evaluation of trace element accumulation in woody plants. *Int J Phytoremediation*, 1(2): 168–187. <https://doi.org/10.1080/15226519908500014>
- Maslo S (2016).** Preliminary List of Invasive Alien Plant Species (Ias) in Bosnia and Herzegovina. *Herbologia: An International Journal on Weed Research and Control*, 16(1): 1–14. <https://doi.org/10.5644/herb.16.1.01>
- Massas I, Kalivas D, Ehaliotis C, Gasparatos D (2013).** Total and available heavy metal concentrations in soils of the Thriassio plain (Greece) and assessment of soil pollution indexes. *Environ Monit Assess*, 185(8): 6751–6766. <https://doi.org/10.1007/s10661-013-3062-1>
- Mataruga Z, Jarić S, Kostić O, Marković M, Jakovljević K, Mitrović M, Pavlović P (2020b).** The potential of elm trees (*Ulmus glabra* Huds.) for the phytostabilisation of potentially toxic elements in the riparian zone of the Sava River. *Environ Sci Pollut Res*, 27(4): 4309–4324. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-07173-9>

- Mataruga Z, Jarić S, Marković M, Pavlović M, Pavlović D, Jakovljević K, Mitrović M, Pavlović P (2020a).** Evaluation of *Salix alba*, *Juglans regia* and *Populus nigra* as biomonitors of PTEs in the riparian soils of the Sava River. *Environ Monit Assess*, 192(2): 131. <https://doi.org/10.1007/s10661-020-8085-9>
- Meers E, Vandecasteele B, Ruttens A, Vangronsveld J, Tack FMG (2007).** Potential of five willow species (*Salix* spp.) for phytoextraction of heavy metals. *Environ Exp Bot*, 60(1): 57–68. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2006.06.008>
- Meers E, Vervaeke, P, Tack, FMG, Lust, N, Verloo, M, Lesage, E (2003).** Field trial experiment: phytoremediation with *Salix* sp. on a dredged sediment disposal site in Flanders, Belgium. *Remed J*, 13: 87–97. <https://doi.org/10.1002/rem.10077>
- Mehra A, Farago ME (1994).** Metal Ions and Plant nutrition. In: Farago ME (Ed.) *Plants and the chemical elements, biochemistry, uptake, tolerance and toxicity*. VCH Weinheim, Federal Republic of Germany pp. 31-65.
- Mertens J, Luysaert S, Verheyen K (2005).** Use and abuse of trace metal concentrations in plant tissue for biomonitoring and phytoextraction. *Environ Pollut*, 138(1): 1–4. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2005.01.002>
- Mertens J, Vervaeke P, De Schrijver A, Luysaert S (2004).** Metal uptake by young trees from dredged brackish sediment: Limitations and possibilities for phytoextraction and phytostabilisation. *Sci Total Environ*, 326(1–3): 209–215. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2003.12.010>
- Mikac S, Žmegač A, Trlin D, Paulić V, Oršanić M, Anić I (2018).** Drought-induced shift in tree response to climate in floodplain forests of Southeastern Europe. *Sci Rep*, 8(1): 1–12. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-34875-w>
- Milačić R, Ščančar J, Murko S, Kocman D, Horvat M (2010).** A complex investigation of the extent of pollution in sediments of the Sava River. Part 1: Selected elements. *Environ Monit Assess*, 163(1–4): 263–275. <https://doi.org/10.1007/s10661-009-0832-x>
- Milačić R, Ščančar J, Paunović M (Eds.) (2015).** *The Sava River*. In: Barceló D, Kostianoy AG (Eds.) *The Handbook of Environmental Chemistry*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, p 506. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-44034-6>
- Milačić R, Zuliani T, Vidmar J, Oprčkal P, Ščančar J (2017).** Potentially toxic elements in water and sediments of the Sava River under extreme flow events. *Sci Total Environ*, 605–606: 894–905. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.06.260>
- Miotto A, Ceretta CA, Girotto E, Trentin G, Kaminski J, De Conti L, Moreno T, Baldi E, Brunetto G (2017).** Copper Accumulation and Availability in Sandy, Acid, Vineyard Soils. *Commun Soil Sci Plant Anal*, 48(10): 1167–1183. <https://doi.org/10.1080/00103624.2017.1341908>
- Miri M, Allahabadi A, Ghaffari HR, Fathabadi ZA, Raisi Z, Rezai M, Aval MY (2016).** Ecological risk assessment of heavy metal (HM) pollution in the ambient air using a new biondicator. *Environ Sci Pollut Res*, 23(14): 14210–14220. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-6476-9>
- Mišić LJ, Lakušić R (1990).** *Livadske biljke*. IP “Svjetlost”, Zavod za udžbenike i nastavna sredstva, Sarajevo, Zavod za udžbenike i nastavna sredstva, Beograd.
- Mitrović M, Pavlović P, Lakusić D, Djurdjević L, Stevanović B, Kostić O, Gajić G (2008).** The potential of *Festuca rubra* and *Calamagrostis epigejos* for the revegetation of fly ash deposits. *Sci Total Environ*, 407(1): 338-347. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2008.09.001>
- Mleczek M, Goliński P, Krzesłowska M, Gąsecka M, Magdziak Z, Rutkowski P, Budzyńska S, Waliszewska B, Kozubik T, Karolewski Z, Niedzielski P (2017).** Phytoextraction of

potentially toxic elements by six tree species growing on hazardous mining sludge. *Environ Sci Pollut Res*, 24(28): 22183–22195. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-9842-3>

- Mleczek M, Rissmann I, Rutkowski P, Kaczmarek Z, Golinski P (2009).** Accumulation of selected heavy metals by different genotypes of *Salix*. *Environ Exp Bot*, 66(2): 289–296.
- Molnár VÉ, Simon E, Ninsawat S, Tóthmérész B, Szabó S (2020).** Pollution assessment based on element concentration of tree leaves and topsoil in Ayutthaya province, Thailand. *International INT J Env Res Pub He*, 17(14): 1–13. <https://doi.org/10.3390/ijerph17145165>
- Molnárová M, Ružičková J, Lehotská B, Takáčová A, Fargašová A (2018).** Determining As, Cd, Cu, Pb, Sb, and Zn in leaves of trees collected near mining locations of Malé Karpaty Mts. In the Slovak republic. *Pol J Environ Stud*, 27(5): 2179–2191. <https://doi.org/10.15244/pjoes/78889>
- Mrvić V, Kostić-Kravljanac L, Zdravković M, Brebanović B, Čakmak D, Sikirić B, Saljnikov E (2010).** Background limit of Zn and Hg in soils of Eastern Serbia. *J Agric Sci*, 55(2): 157–163. <https://doi.org/10.2298/JAS1002157M>
- Mrvić V, Zdravković M, Sikirić B, Čakmak D, Kostić-Kravljanac Lj (2009)** Štetni i opasni elementi u zemljištu. In: Mrvić V, Antonović G, Martinović L (Eds.) *Plodnost i sadržaj opasnih i štetnih materija u zemljištima centralne Srbije*. Institut za zemljište - Beograd, pp. 75–144.
- Nable R.O, Bañuelos G.S, Paull J.G (1997).** Boron toxicity. *Plant and Soil*, 193: 181–198. <https://doi.org/10.1023/A:1004272227886>
- Nagajyoti PC, Lee KD, Sreekanth TVM (2010).** Heavy metals, occurrence and toxicity for plants: a review, *Environ Chem Lett*, 8: 199–216. <https://doi.org/10.1007/s10311-010-0297-8>
- Naiman RJ, Decamps H (1997).** The ecology of interfaces: riparian zones. *Annu Rev Ecol Evol Syst*, 28: 621–658. <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.28.1.621>
- Navarro-Ortega A, Acuña V, Bellin A, Burek P, Cassiani G, Choukr-Allah R, Dolédec S, Elozegi A, Ferrari F, Ginebreda A, Grathwohl P, Jones C, Rault PK, Kok K, Koundouri P, Ludwig RP, Milacic R, Muñoz I, Paniconi C, Paunović M, Petrovic M, Sabater S, Skoulikidis NT, Slob A, Teutsch G, Voulvoulis N, Barceló D (2015).** Managing the effects of multiple stressors on aquatic ecosystems under water scarcity. The GLOBAQUA project. *Sci Total Environ*, 503–504: 3–9. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.06.081>
- Nečemer M, Kump P, Ščančar J, Jaćimović R, Simčič J, Pelicon P, Budnar M, Jeran Z, Pongrac P, Regvar M, Vogel-Mikuš K (2008).** Application of X-ray fluorescence analytical techniques in phytoremediation and plant biology studies. *Spectrochim Acta Part B*, 63(11): 1240–1247. <https://doi.org/10.1016/j.sab.2008.07.006>
- Nelson D, Sommers L (1996).** Chemical methods soil science society of America book series. Soil science society of America, Bigham JM (Ed.), *Methods of soil analysis. Part 3. Chemical Methods*, SSSA, Madison.
- Nissen LR, Lepp NW (1997).** Baseline concentrations of copper and zinc in shoot tissues of a range of *Salix* species. *Biomass Bioenergy*, 12: 115–20. [https://doi.org/10.1016/S0961-9534\(96\)00065-7](https://doi.org/10.1016/S0961-9534(96)00065-7)
- Ogrinc N, Kanduč T, Kocman D (2015).** Integrated approach to the evaluation of chemical dynamics and anthropogenic pollution sources in the Sava River Basin. In R. Milačić, J. Ščančar, M. Paunović (Eds.), *The Sava River*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag. pp. 75–95.

- Olivier JM, Carrel G, Lamouroux N, Dole-Olivier MJ, Malard F, Bravard JP, Amoros C (2009).** The Rhône River Basin. In: *Rivers of Europe*, Tockner T, Uehlinger U, Robinson CT (Eds.). Elsevier Ltd. pp. 247–295. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-369449-2.00007-2>
- Özcan M (2008).** Determination of the mineral compositions of some selected oil-bearing seeds and kernels using Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometry (ICP-AES). *Grasas y Aceites* 57(2): 211–218. <https://doi.org/10.3989/gya.2006.v57.i2.39>
- Pavlović D, Pavlović M, Marković M, Karadžić B, Kostić O, Jarić S, Gržetić I, Pavlović P (2017d).** Possibilities of assessing trace metal pollution using *Betula pendula* Roth. leaf and bark – Experience in Serbia. *J Serb Chem Soc*, 82(6): 723–737. <https://doi.org/10.2298/JSC170113024P>
- Pavlović M, Pavlović D, Kostić O, Jarić S, Čakmak D, Pavlović P, Mitrović M (2017c).** Evaluation of urban contamination with trace elements in city parks in Serbia using pine (*Pinus nigra* Arnold) needles, bark and urban topsoil. *Int J Environ. Res*, 11(5–6): 625–639. <https://doi.org/10.1007/s41742-017-0055-x>
- Pavlović M, Rakić T, Pavlović D, Kostić O, Jarić S, Mataruga Z, Pavlović P, Mitrović M (2017b).** Seasonal variations of trace element contents in leaves and bark of horse chestnut (*Aesculus hippocastanum* L.) in urban and industrial regions in Serbia. *Arch Biol Sci*, 69(2): 201–214. <https://doi.org/10.2298/ABS161202005P>
- Pavlović P, Kostić N, Karadžić B, Mitrović M (2017a).** *The soils of Serbia*. In: Hartemink AE (Ed.), *World soils book series*. Springer Science + Business Media Dordrecht, The Netherlands.
- Pavlović P, Marković M, Kostić O, Sakan S, Đorđević D, Perović V, Pavlović D, Pavlović M, Čakmak D, Jarić S, Paunović M, Mitrović M (2019).** Evaluation of potentially toxic element contamination in the riparian zone of the River Sava. *Catena*, 174: 399–412. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.11.034>
- Pavlović P, Mitrović M, Djurdjević L (2004).** An ecophysiological study of plants growing on the fly ash deposits from the “Nikola Tesla-A” thermal power station in Serbia. *Environ Manage*, 33(5): 654–663. <https://doi.org/10.1007/s00267-004-2928-y>
- Pavlović P, Mitrović M, Đorđević D, Sakan S, Slobodnik J, Liška I, Csanyi B, Jarić S, Kostić O, Pavlović D, Marinković N, Tubić B, Paunović M (2016).** Assessment of the contamination of riparian soil and vegetation by trace metals - A Danube River case study. *Sci Total Environ*, 540: 396–409. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.06.125>
- Pecina V, Juricka D, Kynický J, Baltazár T, Komendová R, Brtnický M (2020).** The need to improve riparian forests management in uranium mining areas based on assessment of heavy metal and uranium contamination. *Forests*, 11(9): 1–14. <https://doi.org/10.3390/f11090952>
- Pennington DN, Hansel JR, Gorchoff DL (2010).** Urbanization and riparian forest woody communities: Diversity, composition, and structure within a metropolitan landscape. *Biol Conserv*, 143(1): 182–194. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2009.10.002>
- Piczak K, Leśniewicz A, Żyrnicki W (2003).** Metal concentrations in deciduous tree leaves from urban areas in Poland. *Environ Monit Assess*, 86: 273–287. <https://doi.org/10.1023/A:1024076504099>
- Pilon-Smits EAH, De Souza MP, Lytle CM, Shang C, Lugo T, Terry N (1998).** Selenium volatilization and assimilation by hybrid poplar (*Populus tremula x alba*). *J Exp Bot*, 49(328): 1889–1892. <https://doi.org/10.1093/jxb/49.328.1889>
- Pulford I, Watson C (2003).** Phytoremediation of heavy metal-contaminated land by trees-a review. *Environ Int*, 29: 529–540. [https://doi.org/10.1016/S0160-4120\(02\)00152-6](https://doi.org/10.1016/S0160-4120(02)00152-6)

- Punshon T, Dickinson NM (1997).** Acclimation of *Salix* to metal stress. *New Phytol*, 137: 303–314. <https://doi.org/10.1046/j.1469-8137.1997.00802.x>
- Radojčić Redovniković I, de Marco A, Proietti C, Hanousek K, Sedak M, Bilandžić N, Jakovljević T (2017).** Poplar response to cadmium and lead soil contamination. *Ecotoxicol Environ Saf*, 144(2017): 482–489. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.06.011>
- Radovanović N, Kuzmanović N, Vukojičić S, Lakušić D, Jovanović S (2017).** Floristic diversity, composition and invasibility of riparian habitats with *Amorpha fruticosa*: A case study from Belgrade (Southeast Europe). *Urban For Urban Green*, 24(2017): 101–108. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2017.04.006>
- Radulović S, Laketić D, Vukov D (2010).** A riverside tale: Assessment of altered habitat effects on macrophyte assemblage on the River Tamiš, Serbia. *Arch Biol Sci*, 62(4): 1163–1174. <https://doi.org/10.2298/ABS1004163R>
- Rafati M, Khorasani N, Moattar F, Shirvany A, Moraghebi F, Hosseinzadeh S (2011).** Phytoremediation potential of *Populus alba* and *Morus alba* for cadmium, chromium and nickel absorption from polluted soil. *Int J Environ Res*, 5(4): 961–970.
- Raunkiaer C (1934).** *The life forms of plants and statistical plant geography*. Calderon Press, Oxford.
- Reddy KR, Delaune R.D (2008).** *Biogeochemistry of Wetlands: Science and Applications*. CRC Press, Boca Raton. <http://dx.doi.org/10.1201/9780203491454>
- Rees R, Robinson B.H, Menon M, Lehmann E, Günthardt-Goerg MS, Schulin R (2011).** Boron accumulation and toxicity in hybrid poplar (*Populus nigra* × *euramericana*). *Environ Sci Technol*, 45(24): 10538–10543. <https://doi.org/10.1021/es201100b>
- Reid RJ, Hayes JE, Post A, Stangoulis JC, Graham RD (2004).** A critical analysis of the causes of boron toxicity in plants. *Plant Cell Environ*, 27: 1405–1414. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2004.01243.x>
- Ricaurte LF, Boesch S, Jokela J, Tockner K (2012).** The distribution and environmental state of vegetated islands within human-impacted European rivers. *Freshw Biol*, 57(12): 2539–2549. <https://doi.org/10.1111/fwb.12026>
- Richardson DM, Pyšek P (2013).** Plant Invasions. In: Levin SA (Ed.) *Encyclopedia of Biodiversity, second edition*, Volume 6, pp. 90-102. MA: Academic Press, Waltham.
- Robinson BH, Green SR, Chancerel B, Mills TM, Clothier BE (2007).** Poplar for the phytomanagement of boron contaminated sites. *Environ Pollut*, 150(2): 225-233. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2007.01.017>
- Roy SK, Kwon SJ, Cho SW, Kamal AHM, Kim SW, Sarker K, Oh MW, Lee MS, Chung KY, Xin Z, Woo, SH (2016).** Leaf proteome characterization in the context of physiological and morphological changes in response to copper stress in *Sorghum*. *BioMetals*, 29(3): 495–513. <https://doi.org/10.1007/s10534-016-9932-6>
- Rüther C, Walentowski H (2008).** Tree species composition and historic changes of the Central European oak/beech region. In: Floren A, Schmidl J (Eds.), *Canopy arthropod research in Europe, Basic and applied studies from the high frontier*. Bioform entomology and equipment, Nürnberg, Germany. pp. 61-88.
- Saba G, Parizanganeh AH, Zamani A, Saba J (2015).** Phytoremediation of heavy metals contaminated environments: Screening for native accumulator plants in Zanjan-Iran. *Int J Environ Res*, 9(1):309–316.
- Saint-Laurent D, Gervais-Beaulac V, Baril F, Matteau C, Sébastien Berthelot J (2013).** Spatial variability of heavy metal contamination in alluvial soils in relation to flood risk zones in

southern Québec, Canada. *Air Soil Water Res*, 6: 1–13.
<https://doi.org/10.1177/ASWR.S10314>

- Saint-Laurent D, Hähni M, St-Laurent J, Baril F (2010).** Comparative assessment of soil contamination by lead and heavy metals in riparian and agricultural areas (Southern Québec, Canada). *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 7: 3100–3114.
<https://doi.org/10.3390/ijerph7083100>
- Sawidis T, Breuste J, Mitrović M, Pavlović P, Tsigaridas K (2011).** Trees as bioindicator of heavy metal pollution in three European cities. *Environ Pollut*, 159(12): 3560–3570.
<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2011.08.008>
- Sawidis T, Chettri MK, Stratis J, Papaioannou A, Zachariadis G (2002).** A Study of Metal Distribution from Lignite Fuels Using Trees as Biological Monitors. *Ecotoxicol Environ Saf*, 48(1): 27–35. <https://doi.org/10.1006/eesa.2000.2001>
- Schneider-Jacoby M (Ed.) (2006).** *Rapid assesment of the ecological value of the Bojana-Buna Delta (Albania/Montenegro)*. Euronatur, Radolfzell, Germany.
- Schulz-Zunkel C, Krueger F, Rupp H, Meissner R, Gruber B, Gerisch M, Bork HR (2013).** Spatial and seasonal distribution of trace metals in floodplain soils. A case study with the middle Elbe River, Germany. *Geoderma*, 211–212: 128–137.
<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2013.07.010>
- Schwarz U (2016).** *Sava White Book. The River Sava: Threats and Restoration Potential*. Radolfzell/Wien: EuroNatur/Riverwatch.
- Sebastiani L, Scebba F, Tognetti R (2004).** Heavy metal accumulation and growth responses in poplar clones Eridano (*Populus deltoides* × *maximowiczii*) and I-214 (*P.* × *euramericana*) exposed to industrial waste. *Environ Exp Bot*, 52: 79–88.
<https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2004.01.003>
- Shahzad B, Tanveer M, Hassan W, Shah AN, Anjum SA, Cheema SA, Ali I (2016).** Lithium toxicity in plants: Reasons, mechanisms and remediation possibilities – A review. *Plant Physiol Biochem*, 107: 104–115. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2016.05.034>
- Silva S (2012).** Aluminium toxicity targets in plants. *J Bot*, 2012: 219462
<https://doi.org/10.1155/2012/219462>
- Simić V, Petrović A, Erg B, Dimović D, Makovinska J, Karadžić B, Paunović M (2015).** Indicative Status Assessment, Biodiversity Conservation and Protected Areas within the Sava River Basin. In: R. Milačić, J. Ščančar, M. Paunović (Eds.), *The Sava River*. Springer, Dodrecht, Heidelberg, New York, London, pp. 453-500.
- Skoulikidis N.T, Economou A.N, Gritzalis K.C, Zogaris S (2009).** Rivers of the Balkans. Rivers of Europe. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-369449-2.00011-4>
- Soil Science Division Staff (2017).** *Soil survey manual*. Ditzler C, Scheffe K, Monger HC (Eds.). USDA Handbook 18. Government Printing Office, Washington, D.C.
- Soil Survey Staff (2011).** *Soil Survey Laboratory Information Manual*. Soil Survey Investigations Report No. 45, Version 2.0. R. Burt (Ed.). U.S. Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service.
- Sorek A, Atzmon N, Dahan O, Gerstl Z, Kushisin L, Laor Y, Mingelgrin U, Nasser A, Ronen D, Tsechansky L, Weisbrod N, Graber ER (2008).** Phytoscreening: the use of trees for discovering subsurface contamination by VOCs. *Environ Sci Technol*, 42(2): 536–542.
<https://doi.org/10.1021/es072014b>
- StaSoft Inc. (2010).** StatSoft. Statistica Data analysis software system, version 10.
<http://www.statsoft.com>

- Stella J, Rodríguez-González P, Dufour S, Bendix J (2013).** Riparian vegetation research in Mediterranean-climate regions: common patterns, ecological processes, and considerations for management. *Hydrobiologia*, 719: 291–315. <https://doi.org/10.1007/s10750-012-1304-9>
- Stevanović B, Janković M (2001).** *Ekologija biljaka sa osnovama fiziološke ekologije biljaka*, NNK International, Beograd.
- Stobrawa K, Lorenc-Plucińska G (2007).** Changes in antioxidant enzyme activity in the fine roots of black poplar (*Populus nigra* L.) and cottonwood (*Populus deltoides* Bartr. ex Marsch) in a heavy-metal-polluted environment. *Plant Soil*, 298(1–2): 57–68. <https://doi.org/10.1007/s11104-007-9336-z>
- Streit B, Stumm W (1993).** Chemical properties of metals and the process of bioaccumulation in terrestrial plants. In: Market B (Ed.) *Plants as biomonitors, Indicators for heavy metals in the terrestrial environment*. VCH Weinheim, Federal Republic of Germany pp. 31–62.
- Sunil C, Somashekar RK, Nagaraja BC (2010).** Riparian vegetation assessment of Cauvery River Basin of South India. *Environ Monit Assess*, 170(1–4): 545–553. <https://doi.org/10.1007/s10661-009-1256-3>
- Swanson S, Kozłowski D, Hall R, Heggem D, Lin J (2017).** Riparian proper functioning condition assessment to improve watershed management for water quality. *J Soil Water Conserv*, 72(2): 168–182. <https://doi.org/10.2489/jswc.72.2.168>
- Szabó AS (1988).** Non-destructive boron determination by activation analysis, the role of boron in the tropic chain. In: Proceedings of Inter-Symposium: New Results in the Research of Hardly Known Trace elements and their Role in Food Chains, University of Horticulture and Food Industry, Budapest.
- Szuba A, Lorenc-Plucińska G (2018).** Field proteomics of *Populus alba* grown in a heavily modified environment – An example of a tannery waste landfill. *Sci Total Environ*, 610–611: 1557–1571. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.06.102>
- Šarić T (1986).** *Atlas korova*. “Svjetlost” OOUR Zavod za udžbenike i nastavna sredstva, Sarajevo.
- Ščančar J, Heath E, Zuliani T, Horvat M, Kotnik J, Perko P, Milačič R (2015).** Elements and persistent organic pollutants in the sediments of the Sava River. In: R. Milačič, J. Ščančar, M. Paunović (Eds.), *The Sava River*. Dodrecht: Springer pp. 95–123.
- Šilić Č (1977).** *Šumske zeljaste biljke*. IGKRO “Svjetlost” OOUR Zavod za udžbenike, Sarajevo “Školska knjiga”, Zagreb – “Vuk Karadžić”, Beograd.
- Šilić Č (1990).** *Atlas drveća i grmlja*. IP “Svjetlost”, Zavod za udžbenike i nastavna sredstva, Sarajevo, Zavod za udžbenike i nastavna sredstva, Beograd.
- Tang T, Miller DM (1991).** Growth and tissue composition of rice grown in soil treated with inorganic copper, nickel, and arsenic. *Comm Soil Sci Plant Anal*, 22(19-20): 2037-2045. <https://doi.org/10.1080/00103629109368556>
- Tessier A, Campbell PGC (1987).** Partitioning of Trace Metals in Sediments: Relationships with Bioavailability. *Hydrobiologia*, 149: 43-52. <https://doi.org/10.1007/BF00048645>
- The Plant List (2020)** Version 1.1. Published on the Internet; <http://www.theplantlist.org/> (Accessed 15 October 2019)
- Thuja 2 (2012).** Tujerodne vrste v Sloveniji (Alien species in Slovenia). <https://www.tujerodne-vrste.info/en/alien-species-slovenia/alien-plants/> (Accessed 03 October 2019)
- Timm H, Łapińska ML, Zalewski M, Olšauskyte V, Skorupskas RC, Briede A, Druvietis I, Gavrilova GM, Parele E, Sprinže G, Gaumiga R, Mel'nik MM, Aleksandrov JV (2009).** Baltic and Eastern Continental Rivers. In: Tockner T, Uehlinger U, Robinson CT (Eds.), *Rivers of Europe*. pp. 607–642. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-369449-2.00016-3>

- Tockner K, Pusch M, Borchardt D, Lorang MS (2010).** Multiple stressors in coupled river-floodplain ecosystems. *Freshw Biol*, 55(suppl. 1): 135–151. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2009.02371.x>
- Tockner K, Stanford JA (2002).** Riverine flood plains: present state and future trends. *Environ Conserv*, 29(03): 308–330. <https://doi.org/10.1017/S037689290200022X>
- Tošić SB, Mitić SS, Velimirović DS, Stojanović GS, Pavlović AN, Pecev-Marinković ET (2014).** Elemental composition of edible nuts: fast optimization and validation procedure of an ICP-OES method. *J Sci Food Agric*, 95(11): 2271–2278. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6946>
- Turrill W (1929).** On the Flora of the Nearer East: IV. Bulletin of Miscellaneous Information (Royal Botanic Gardens, Kew), 1929(7): 223-235. <https://doi.org/10.2307/4113537>
- Tutin TG (1964-1980).** *Flora Europaea*, Vol. 1-5, Cambridge University Press, London.
- Uehlinger U, Wantzen KM, Leuven RSEW, Arndt H (2009).** The Rhine River Basin In: Tockner T, Uehlinger U, Robinson CT (Eds.), *Rivers of Europe*. Elsevier Ltd. pp. 199-245 <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-369449-2.00006-0>
- Utarbayeva N, Aipeisova S, Bodykova I, Kazkeev E, Amanova R, Abiyev, S (2018).** Heavy metal accumulation capacity of trees grown in the Aktobe city (Republic of Kazakhstan). *Biosci Res*, 15(4): 4012–4019.
- Vandecasteele B, de Vos B, Tack FMG (2002).** Cadmium and Zinc uptake by volunteer willow species and elder rooting in polluted dredged sediment disposal sites. *Sci Total Environ*, 299(1–3): 191–205. [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(02\)00275-9](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(02)00275-9)
- Vandecasteele B, Meers E, Vervaeke P, De Vos B, Quataert P, Tack FMG (2005).** Growth and trace metal accumulation of two *Salix* clones on sediment-derived soils with increasing contamination levels. *Chemosphere*, 58(8): 995–1002. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2004.09.062>
- Venturas M, Fernández V, Nadal P, Guzmán P, Lucena JJ, Gil L (2014).** Root iron uptake efficiency of *Ulmus laevis* and *U. minor* and their distribution in soils of the Iberian Peninsula. *Front Plant Sci*, 5(article 104): 1–9. <https://doi.org/10.3389/fpls.2014.00104>
- Verhoeven JTA, Arheimer B, Yin C, Hefting MM (2006).** Regional and global concerns over wetlands and water quality. *Trends Ecol Evol*, 21(2): 96–103. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2005.11.015>
- Vertačnik A, Prohić E, Kozar S, Juračić M (1995).** Behaviour of some trace elements in alluvial sediments, Zagreb water-well field area, Croatia. *Water Res*, 29(1): 237–246. [https://doi.org/10.1016/0043-1354\(94\)E0114-L](https://doi.org/10.1016/0043-1354(94)E0114-L)
- Vervaeke P, Luysaert S, Mertens J, Meers E, Tack FMG, Lust N (2003).** Phytoremediation prospects of willow stands on contaminated sediment: a field trial. *Environ Pollut*, 126(2): 275–282. [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(03\)00189-1](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(03)00189-1)
- Vidmar J, Zuliani T, Novak P, Drinčić A, Ščančar J, Milačić R (2017).** Elements in water, suspended particulate matter and sediments of the Sava River. *J Soils Sediments*, 17(7): 1917–1927. <https://doi.org/10.1007/s11368-016-1512-4>
- Vinebrooke RD, Cottingham KL, Norberg J, Scheffer M, Dodson SI, Maberly SC, Sommer U (2004).** Impacts of multiple stressors on biodiversity and ecosystem functioning. The role of species co-tolerance. *Oikos*, 104: 451–457. <https://doi.org/10.1111/j.0030-1299.2004.13255.x>
- von Fircks Y, Rosén K, Sennerby-Forsse L (2002).** Uptake and distribution of ¹³⁷Cs and ⁹⁰Sr in *Salix viminalis* plants. *J Environ Radioact*, 63(1): 1–14. [https://doi.org/10.1016/S0265-931X\(01\)00131-X](https://doi.org/10.1016/S0265-931X(01)00131-X)

- Vysloužilová M, Tlustoš P, Száková J, Pavlíková D (2003).** As, Cd, Pb and Zn uptake by *Salix* spp. clones grown in soils enriched by high loads of these elements. *Plant Soil Environ*, 49(5): 191–196. <http://dx.doi.org/10.17221/4112-PSE>
- Walter I, Martinez F, Cala V (2006).** Heavy metal speciation and phytotoxic effects of three representative biosolids for agricultural uses. *Environ Pollut*, 139: 507–514. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2005.05.020>
- Wang Y, Yang L, Kong L, Liu E, Wang L, Zhu J (2015).** Spatial distribution, ecological risk assessment and source identification for heavy metals in surface sediments from Dongping Lake, Shandong, East China. *Catena*, 125: 200–205. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2014.10.023>
- Westhoff V, van der Maarel E (1973).** The Braun-Blanquet approach. In: Whittaker R. H. (Ed.), *Handbook of vegetation science V, Ordination and classification of communities*. Junk, The Hague. pp. 617–726.
- WFD Directive (2000).** 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council Establishing a framework for Community action in the field of water policy L 327/1. Official Journal of the European Communities, Luxembourg.
- Wolterbeek B (2002).** Biomonitoring of trace element air pollution: principles, possibilities and perspectives. *Environ Pollut*, 120(1): 11–21. [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(02\)00124-0](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(02)00124-0)
- Wu F, Yang W, Zhang J, Zhou L (2010).** Cadmium accumulation and growth responses of a poplar (*Populus deltoides* × *Populus nigra*) in cadmium contaminated purple soil and alluvial soil. *J Hazard Mater*, 177: 268–273. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.12.028>
- Wuytack T, Verheyen K, Wuyts K, Kardel F, Adriaenssens S, Samson R (2010).** The potential of biomonitoring of air quality using leaf characteristics of white willow (*Salix alba* L.). *Environ Monit Assess*, 171(1–4): 197–204. <https://doi.org/10.1007/s10661-009-1271-4>
- Xiao R, Bai J, Huang L, Zhang H, Cui B, Liu X (2013).** Distribution and pollution, toxicity and risk assessment of heavy metals in sediments from urban and rural rivers of the Pearl River delta in southern China. *Ecotoxicology*, 22: 1564–1575. <https://doi.org/10.1007/s10646-013-1142-1>
- Yakun S, Xingmin M, Kairong L, Hongbo S (2016).** Soil characterization and differential patterns of heavy metal accumulation in woody plants grown in coal gangue wastelands in Shaanxi, China. *Environ Sci Pollut Res*, 23(13): 13489–13497. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-6432-8>
- Yıldırım K (2017).** Transcriptomic and hormonal control of boron uptake, accumulation and toxicity tolerance in poplar. *Environ Exp Bot*, 141: 60–73. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2017.07.004>
- Yıldırım K, Kasım GÇ (2018).** Phytoremediation potential of poplar and willow species in small scale constructed wetland for boron removal. *Chemosphere*, 194(2018): 722–736. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.12.036>
- Yoon J, Cao X, Zhou Q, Ma LQ (2006).** Accumulation of Pb, Cu, and Zn in native plants growing on a contaminated Florida site. *Sci Total Environ*, 368(2–3): 456–464. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2006.01.016>
- Yu XZ, Gu JD (2008).** Differences in uptake and translocation of selenate and selenite by the weeping willow and hybrid willow. *Environ Sci Pollut Res*, 15(6): 499–508. <https://doi.org/10.1007/s11356-008-0036-x>

- Yu XZ, Gu JD, Xing LQ (2008).** Differences in uptake and translocation of hexavalent and trivalent chromium by two species of willows. *Ecotoxicology*, 17(8): 747–755. <https://doi.org/10.1007/s10646-008-0224-y>
- Zacchini M, Iori V, Mugnozza GS, Pietrini F, Massacci A (2011).** Cadmium accumulation and tolerance in *Populus nigra* and *Salix alba*. *Biol Plant*, 55(2): 383–386. <https://doi.org/10.1007/s10535-011-0060-4>
- Zaimes GN, Iakovoglou V, Emmanouloudis D, Gounaridis D (2010).** Riparian areas of Greece: Their definition and characteristics. *J Eng Sci Technol*, 3(1): 176–183. <https://doi.org/10.25103/jestr.031.29>
- Zhang H, Cui B, Zhang K (2011).** Heavy metal distribution of natural and reclaimed tidal riparian wetlands in south estuary, China. *J Environ Sci*, 23(12): 1937–1946. [https://doi.org/10.1016/S1001-0742\(10\)60644-4](https://doi.org/10.1016/S1001-0742(10)60644-4)
- Zimmer D, Baum C, Meissner R, Leinweber P (2012).** Soil-ecological evaluation of willows in a floodplain. *J Plant Nutr Soil Sci*, 175(2): 245–252. <https://doi.org/10.1002/jpln.201100063>
- Zimmer D, Kiersch K, Baum C, Meissner R, Müller R, Jandl G, Leinweber P (2011).** Scale-dependent variability of As and heavy metals in a River Elbe floodplain. *Clean - Soil, Air, Water*, 39(4): 328–337. <https://doi.org/10.1002/clen.201000295>

PRILOZI

Prilog 1. Lista zabeleženih vrsta na riparijalnim staništima istraživanih lokaliteta u obalnoj zoni reke Save

Familija /Vrsta	MOJ	RAD	LIT	VRH	ČAT	ZAG	JAS	SLB	ŽUP	SRM	ŠAB	BEO	ŽF	Indikatorska vrednost				
	B SP	B SP	B SP	B SP	B SP	B SP	B SP	B SP	B SP	B SP	B SP	B SP		V	K	N	S	T
Adoxaceae																		
<i>Sambucus ebulus</i> L.						3 I	5 I	3-5 III	5 I				G	3	4	4	4	4
<i>Sambucus nigra</i> L.	5 III				3 III	7 IV				3 I			P	3	3	4	3	4
<i>Viburnum lantana</i> L.	3-5 III	3-5 III											P	2	4	2	3	4
<i>Viburnum opulus</i> L.	3-5 IV	3 V	5-7 IV	3 II									P	3	3	3	3	4
Alismataceae																		
<i>Alisma plantago-aquatica</i> L.					2 I								G	6	3	3	4	3
<i>Sagittaria sagittifolia</i> L.								3 II		7 II	5-7 III		G	6	3	3	3	3
Amaranthaceae																		
<i>Amaranthus albus</i> L.									3 II				T	2	3	4	4	4
<i>Amaranthus retroflexus</i> L.		2 II			3-5 II	3-5 III	3-7 IV	3 II	3-7 IV	3-7 IV		3-7 IV	T	2	3	4	4	4
<i>Chenopodium album</i> L.			2 I		3 III	3 IV	7 II	5 II	7 I	7 IV	2-5 IV	3-5 IV	T	2	3	4	3	3
<i>Chenopodium hybridum</i> L.									3 II	3 II			T	3	4	4	4	3
<i>Chenopodium rubrum</i> L.							5 III					3 II	T	3	3	5	4	3
Amaryllidaceae																		
<i>Allium carinatum</i> L.		2-3 III											G	2	4	2	4	4
Apiaceae																		
<i>Angelica sylvestris</i> L.	2 IV	3 II	2 II		2 I	2-3 IV			2 I				H	4	3	3	3	3
<i>Anthriscus sylvestris</i> (L.) Hoffm.	3 III									3 III			H	3	3	4	4	3
<i>Daucus carota</i> L.	2-3 III	3 IV			2 II	3 I	3 II	3 I					T	2	3	2	4	3
<i>Heracleum sphondylium</i> L.			2 I	3 I		2-3 III							H	3	3	4	3	2
<i>Pastinaca sativa</i> L.			3 I										T	3	4	3	4	3
<i>Pimpinella major</i> (L.) Huds.	3 III							5 II					H	3	3	3	3	2
Apocynaceae																		
<i>Asclepias syriaca</i> L.						3-7 IV	5 III	3-5 III	5-7 II				G	2	4	3	3	3
<i>Vincetoxicum hirundinaria</i> Medik.										3 I			H	2	4	2	3	3
Araliaceae																		

Familija /Vrsta	MOJ	RAD	LIT	VRH	ČAT	ZAG	JAS	SLB	ŽUP	SRM	ŠAB	BEO	ŽF	Indikatorska vrednost				
	B SP	B SP	B SP	B SP	B SP	B SP	B SP	B SP	B SP	B SP	B SP	B SP	B SP	V	K	N	S	T
<i>Hedera helix</i> L.		3 II	2-5 II		5 I	5-7 IV				3 II			L	3	3	3	2	4
Aristolochiaceae																		
<i>Aristolochia clematitidis</i> L.		3-7 V			5 II	5-8 V	3-7 III	3-5 IV	3-7 I	7 II		2-7 IV	G	3	4	4	3	4
<i>Asarum europaeum</i> L.	2-3 IV	2-3 III		2 I									G	3	4	3	2	4
Asparagaceae																		
<i>Asparagus tenuifolius</i> Lam.			2 I										G	1	3	2	3	5
<i>Polygonatum multiflorum</i> (L.) All.		3-5 III											G	3	3	2	2	3
Balsaminaceae																		
<i>Impatiens glandulifera</i> Royle	2-3 IV	5 II	2-5 III	2-5 III	5 III	3 III							T					
Berberidaceae																		
<i>Epimedium alpinum</i> L.		3-7 IV											G	3	2	3	2	3
Betulaceae																		
<i>Alnus glutinosa</i> (L.) Gaertn.		3 I	2 II	2-3 III	2-3 III								P	5	3	3	3	3
<i>Alnus incana</i> (L.) Moench	3-5 V	3-5 IV			2 II		3 I						P	4	4	3	3	3
<i>Betula pubescens</i> Ehrh.	3-7 IV	2 II								3 II			P	4	2	2	4	3
<i>Carpinus betulus</i> L.				2 I									P	3	3	3	2	4
<i>Corylus avellana</i> L.	3-5 IV	3 IV	5 II	5 III	2 I								P	3	3	3	3	3
Boraginaceae																		
<i>Pulmonaria officinalis</i> L.	2-3 II	3 I											H	3	4	3	3	3
<i>Symphytum officinale</i> L.					5 II	3 II							H	4	3	4	3	2
Brassicaceae																		
<i>Barbarea vulgaris</i> R.Br.					2 II								H	3	3	3	4	3
<i>Capsella bursa-pastoris</i> (L.) Medik.									3 II			2 II	T	2	3	3	4	3
<i>Cardamine enneaphyllos</i> (L.) Crantz		3 V											G	3	4	3	3	3
<i>Raphanus raphanistrum</i> L.					3 I								T	3	2	3	4	4
<i>Rorippa islandica</i> (Oeder) Borbás					5 II	2-7 IV	5 II	3 IV	2-7 IV	5 II	2-5 III	5-7 IV	T	5	3	3	4	3
<i>Sinapis arvensis</i> L.						3 II			3 I			3 II	T	3	4	3	4	3
<i>Sisymbrium strictissimum</i> L.						2 I							H	3	4	4	3	3

Familija /Vrsta	MOJ	RAD	LIT	VRH	ČAT	ZAG	JAS	SLB	ŽUP	SRM	ŠAB	BEO	ŽF	Indikatorska vrednost					
	B SP	B SP	B SP	B SP	B SP	B SP	B SP	B SP	B SP	B SP	B SP	B SP		V	K	N	S	T	
Cannabaceae																			
<i>Humulus lupulus</i> L.			3-5 III	5 II	5 IV	5-8 V	5-7 IV	7 II					H	4	3	4	3	3	
Caprifoliaceae																			
<i>Dipsacus fullonum</i> L.						3 II		3 II					H	3	4	3	4	4	
<i>Knautia arvensis</i> (L.) Coult.	2-3 IV	3 IV	3 II	2 I	3 II	3 III		3 II					H	2	3	2	4	3	
Caryophyllaceae																			
<i>Saponaria officinalis</i> L.			2 II	3 II	2-5 IV	3-5 V	2 II						H	2	4	3	3	3	
<i>Silene baccifera</i> (L.) Roth						3 II							G	4	4	4	3	4	
<i>Silene latifolia</i> Poir.			3 I	3 III	3-5 III	3 V	5 III	3 IV	3 I				H						
<i>Silene vulgaris</i> (Moench) Garcke					3 III	5-7 IV		3 II					H	2	3	2	4	3	
<i>Stellaria aquatica</i> (L.) Scop.						3 II				5 III			H	4	3	4	3	3	
<i>Stellaria media</i> (L.) Vill.		3 III		3 II		2 II							T	3	3	4	3	3	
Celastraceae																			
<i>Euonymus europaeus</i> L.		2-3 IV	3 II										P	3	4	3	3	4	
<i>Euonymus verrucosus</i> Scop.	3 I			3 II	5 II								P	2	4	3	3	4	
Compositae																			
<i>Achillea millefolium</i> L.		2-3 V	3 II		2-3 III	3 II	3-5 III	5 II	5 I			5 III	H	2	3	3	4	3	
<i>Ambrosia artemisiifolia</i> L.					3-5 III	5-7 V	5-7 V	5-7 IV	5-7 IV	3 III	3 II	3 II	T	2	3	3	4	4	
<i>Arctium lappa</i> L.					3 III	3-5 V	3 II		2 I	3 II			H	3	3	5	4	4	
<i>Artemisia vulgaris</i> L.		2-5 IV	2 I	3 II	5 III	3-7 V	5 II		3 I				H	3	3	4	4	3	
<i>Bidens tripartita</i> L.			3 II		3 III	2-3 IV	3-5 V	3-5 V	3-7 III	3-7 V	3 III	5 IV	T	4	3	4	4	3	
<i>Carduus acanthoides</i> L.								2-7 III	7 I				H	2	3	4	4	4	
<i>Centaurea cyanus</i> L.		2 I											T	2	3	3	4	4	
<i>Centaurea jacea</i> L.	2 I	2-3 II			2-3 III	3 II	3-5 II	3 IV	5 I				H	3	3	3	4	3	
<i>Cichorium intybus</i> L.		3 V	3 III		3-5 IV	3-5 IV	3 IV	5 IV	5-7 III	3 II			H	2	4	3	5	4	
<i>Cirsium arvense</i> (L.) Scop.					3 I	7 II	5 I		2-7 III				G	3	3	4	4	4	
<i>Cirsium oleraceum</i> (L.) Scop.	3-7 V		5 II	3 II									H	4	4	3	3	3	
<i>Echinops sphaerocephalus</i> L.						3 II							H	2	4	3	4	4	

Familija /Vrsta	MOJ		RAD		LIT		VRH		ČAT		ZAG		JAS		SLB		ŽUP		SRM		ŠAB		BEO		ŽF	Indikatorska vrednost						
	B	SP	B	SP	B	SP	B	SP	B	SP	B	SP	B	SP	B	SP	B	SP	B	SP	B	SP	B	SP		V	K	N	S	T		
<i>Erigeron annuus</i> (L.) Pers.			2-3	V	3	II	2-3	III	3-7	IV	3-7	V	3-5	III	3-5	IV	3	I	3	I			5	I	T	3	3	3	4	4		
<i>Erigeron canadensis</i> L.			2-3	IV			3	II	3	III	5	V	5	II	3	II			3	II			3-5	IV	T	2	3	3	4	4		
<i>Eupatorium cannabinum</i> L.		3	IV	3	IV				3	III														H	4	4	3	3	3			
<i>Galinsoga parviflora</i> Cav.					2	II			3	II			3	II						3	III			T	2	3	3	4	4			
<i>Helianthus tuberosus</i> L.			2	III	5-7	III	3-5	IV	3-8	V	5-7	V												G								
<i>Helminthotheca echioides</i> (L.) Holub																		3	I					T								
<i>Hypochoeris radicata</i> L.		3	II																					H	3	2	2	4	3			
<i>Inula britannica</i> L.									2	II	2-3	IV			2	I	2	I	2	I			2	I	H	4	4	3	3	4		
<i>Lactuca saligna</i> L.															3	II								T	1	3	3	4	5			
<i>Leontodon hispidus</i> L.					3-5	III																		H	3	3	3	4	3			
<i>Matricaria chamomilla</i> L.											2	II												T	3	3	3	4	4			
<i>Mycelis muralis</i> (L.) Dumort.		2-3	II	2	I			2	I	2	I	3	III										3	I	3	II	H	3	3	3	2	3
<i>Petasites hybridus</i> (L.) G.Gaertn., B.Mey. and Scherb		3-7	III								3	II												G	4	3	4	3	3			
<i>Picris hieracioides</i> Sibth. and Sm.											2	I												H	2	4	3	4	3			
<i>Pulicaria vulgaris</i> Gaertn.																								T	4	2	4	4	4			
<i>Senecio vulgaris</i> L.			2	I							2	I												T	3	3	4	4	3			
<i>Solidago canadensis</i> L.		2-7	IV	3-7	V	5	II	3-7	V	7-8	V	3-7	V	3-5	III	3	II	2	I					G	3	3	3	3	4			
<i>Solidago virgaurea</i> L.			3	III	2	II																		H	3	3	3	2	3			
<i>Sonchus arvensis</i> L.								2	I	2	II	3	I	3-5	IV	3	I							H	3	3	4	3	3			
<i>Sonchus asper</i> (L.) Hill											3	III			5	II	2-3	III					3	II	T	3	3	4	4	3		
<i>Sonchus palustris</i> L.																				3	II			H	5	4	4	3	4			
<i>Symphyotrichum novi-belgii</i> (L.) G.L.Nesom																								H								
<i>Symphyotrichum tradescantii</i> (L.) G.L.Nesom											2	I												G	3	4	4	3	4			
<i>Tanacetum vulgare</i> L.			2-3	III				3-5	II	2	II													H	3	3	3	4	3			
<i>Taraxacum officinale</i> Webb					5	II		3	II	2-5	IV	3	II	2	II					2	II			H	3	3	4	4	3			
<i>Tragopogon dubius</i> Scop.														3	II									H	2	3	3	4	4			
<i>Tussilago farfara</i> L.		5	III	3	II																			G	3	4	3	4	3			
<i>Xanthium strumarium</i> L.								2	III	2	II	5	II	3-8	IV	2-8	III	2-8	IV	3-5	III	3	II	T	3	3	4	4	5			

Familija /Vrsta	MOJ	RAD	LIT	VRH	ČAT	ZAG	JAS	SLB	ŽUP	SRM	ŠAB	BEO	ŽF	Indikatorska vrednost				
	B SP	B SP	B SP	B SP	B SP	B SP	B SP	B SP	B SP	B SP	B SP	B SP		V	K	N	S	T
Convolvulaceae																		
<i>Calystegia sepium</i> (L.) R. Br.			3 I		3-7 V	5 III	5 IV	7 II	3 I				G	4	4	4	3	3
<i>Convolvulus arvensis</i> L.						5-7 V	3-5 IV	7 II	3-7 V	7 II		5 III	G	2	4	3	4	3
Cornaceae																		
<i>Cornus mas</i> L.		2-3 III		2-3 III									P	3	4	3	3	4
<i>Cornus sanguinea</i> L.	3-7 V	3-5 V	7 II	3-7 IV	5-7 IV	2-5 V	3-7 V	5 II					P	3	4	3	3	3
Cucurbitaceae																		
<i>Echinocystis lobata</i> (Michx.) Torr. and A.Gray			5 III	3-5 IV	2-5 III	3-8 V	3-5 V	2-7 IV	2-7 II	3 II	2 II	2 II	T					
Cyperaceae																		
<i>Carex vulpina</i> L.									2 I				H	3	3	2	4	4
<i>Cyperus fuscus</i> L.							3 I			3-5 III	3-5 IV	3 II	T	4	3	3	4	3
Equisetaceae																		
<i>Equisetum arvense</i> L.		3 V	3-5 III		5 II		3-5 IV						G	3	3	3	3	3
<i>Equisetum maximum</i> Lam.				3 III									G	4	3	2	3	3
<i>Equisetum palustre</i> L.	3-5 IV												G	4	3	2	4	3
Euphorbiaceae																		
<i>Euphorbia amygdaloides</i> L.		2-5 V											H	3	4	3	2	3
<i>Euphorbia cyparissias</i> L.				3 II		3 II							H	2	3	2	4	3
Fagaceae																		
<i>Fagus sylvatica</i> L.	3 III	2-7 IV											P	4	3	3	2	3
<i>Quercus petraea</i> (Matt.) Liebl.		3 II											P	3	3	2	3	3
<i>Quercus robur</i> L.		2 I	2 I	3 I	2 I								P	3	3	3	3	4
Gentianaceae																		
<i>Centaurium erythraea</i> Rafn		2 I						2 I					H	3	3	3	4	3
Geraniaceae																		
<i>Geranium macrorrhizum</i> L.	3-5 IV												H	2	4	4	3	4
<i>Geranium sylvaticum</i> L.	3-5 III												H	3	3	4	3	2
Hypericaceae																		

Familija /Vrsta	MOJ	RAD	LIT	VRH	ČAT	ZAG	JAS	SLB	ŽUP	SRM	ŠAB	BEO	ŽF	Indikatorska vrednost				
	B SP	B SP	B SP	B SP	B SP	B SP	B SP	B SP	B SP	B SP	B SP	B SP	B SP	V	K	N	S	T
<i>Hypericum perforatum</i> L.		2-3 IV	2 I	3 II	3 II								H	2	3	3	3	3
Iridaceae																		
<i>Crocus sativus</i> L.	3-5 IV	2-3 III											G					
Juglandaceae																		
<i>Juglans regia</i> L.	3 III	2-3 V	2 I	2 II	2 III		2 II			2 II			P	3	4	3	3	4
Juncaceae																		
<i>Juncus articulatus</i> L.		2-5 V											H	4	3	2	4	3
Lamiaceae																		
<i>Ballota nigra</i> L.					2 II	3 II				5 III			G	3	3	4	4	4
<i>Clinopodium vulgare</i> L.					2 I				3 I				H	3	4	2	4	3
<i>Galeopsis speciosa</i> Mill.			2 I		3 I	2 I	3 I						T	3	3	4	3	2
<i>Glechoma hederacea</i> L.			2-5 III	3-5 IV	5-7 III		5 II	5 II	7 I	5 I			H	3	3	3	3	3
<i>Lamium purpureum</i> L.				3 II	2 I	2-5 V		3 II					T	3	4	4	4	3
<i>Leonurus cardiaca</i> L.				3 II									H	2	4	5	4	4
<i>Lycopus europaeus</i> L.				3 I	3 I				2-7 III	3 II	3-5 IV	3-5 IV	G	5	3	3	3	3
<i>Mentha aquatica</i> L.			3-5 III		3 I	5 II		3-5 III	5 I				G	5	3	3	3	3
<i>Mentha pulegium</i> L.		2-5 V		3 III	5-7 II	5 III	3 I	3 III	2-5 III				G	4	3	3	3	4
<i>Origanum vulgare</i> L.		3 II			3 II								G	2	3	2	3	3
<i>Prunella vulgaris</i> L.		3 III	2 I		3 II			3 III	3 I	3 I		5 II	H	3	3	3	4	3
<i>Salvia glutinosa</i> L.		3-5 V	3 I	2-5 III									H					
<i>Salvia pratensis</i> L.						3 IV			3 I				H					
<i>Scutellaria galericulata</i> L.						2 II		2 II				3 II	G	4	3	3	3	3
<i>Stachys palustris</i> L.						3 I		5 II				3 II	G	4	3	3	3	3
Leguminosae																		
<i>Amorpha fruticosa</i> L.							5-8 V	2-8 V	2-8 IV	3-5 IV	2-5 IV	3-5 IV	P	4	3	3	3	4
<i>Gleditsia triacanthos</i> L.												2 I	P					
<i>Glycyrrhiza echinata</i> L.									8 II				H	3	3	2	4	4
<i>Lathyrus latifolius</i> L.						3 II			3 I				G	2	4	2	4	5

Familija /Vrsta	MOJ	RAD	LIT	VRH	ČAT	ZAG	JAS	SLB	ŽUP	SRM	ŠAB	BEO	ŽF	Indikatorska vrednost				
	B SP	B SP	B SP	B SP	B SP	B SP	B SP	B SP	B SP	B SP	B SP	B SP	B SP	V	K	N	S	T
<i>Lathyrus pratensis</i> L.	2 II								2 I				G	3	3	3	3	3
<i>Lotus corniculatus</i> L.					2-3 III	3 II		3 II	3 I				H	2	4	3	4	3
<i>Medicago lupulina</i> L.		2 III			3 II	3 II		3 II		3 I			T	2	4	3	3	4
<i>Medicago sativa</i> L.	2-5 V		3-5 III				7 II						H	2	4	3	4	4
<i>Melilotus albus</i> Medik.		2-3 V	3 II	3 II	3-5 IV	3 II	2 I						H	2	3	2	4	3
<i>Melilotus officinalis</i> (L.) Pall.								2 I					H	2	4	3	4	3
<i>Robinia pseudoacacia</i> L.		2-3 IV		3-7 V	3-7 IV	5 II				5 II			P	2	3	4	3	4
<i>Trifolium incarnatum</i> L.					3 II								T	2	3	3	4	5
<i>Trifolium pratense</i> L.	3 IV	3 V	5 II		3 II	3-5 V	3-5 IV	5 IV	5 I				H	3	3	3	3	3
<i>Trifolium repens</i> L.	2-3 III		7 III		5 III	5 IV	5-7 III	5 IV	5 I				H	3	3	4	4	3
<i>Vicia cracca</i> L.			5 II		3 III	3 II		5 II					H	3	3	3	4	3
<i>Vicia sativa</i> L.								3 II	3 I				H	3	3	3	3	3
Liliaceae																		
<i>Lilium martagon</i> L.		2 III											G	3	4	3	3	3
Lythraceae																		
<i>Lythrum salicaria</i> L.			2 I	5 III	3-5 V	3 II		3-5 IV	3 I	3 II			H	4	3	3	3	3
Malvaceae																		
<i>Abutilon theophrasti</i> Medik.									2 I		2 I		T	2	3	3	4	5
<i>Althaea officinalis</i> L.							2-5 III	5-7 IV	2-5 II				H	3	3	3	4	5
<i>Malva sylvestris</i> L.			3 III		3 III				2 I	3 II		3 II	H	2	3	4	4	4
<i>Tilia cordata</i> Mill.		5-7 III	5-7 III										P	3	3	3	2	3
<i>Tilia tomentosa</i> Moench					2 II					2 II			P	3	4	2	4	4
Melanthiaceae																		
<i>Paris quadrifolia</i> L.		3 II											G	3	3	3	2	3
<i>Veratrum album</i> L.		2 IV											H	3	3	3	4	3
Moraceae																		
<i>Morus alba</i> L.	3 III					3 II	2 I			2 II		2 II	P					
<i>Morus nigra</i> L.										3 II			P					

Familija /Vrsta	MOJ	RAD	LIT	VRH	ČAT	ZAG	JAS	SLB	ŽUP	SRM	ŠAB	BEO	ŽF	Indikatorska vrednost				
	B SP	B SP	B SP	B SP	B SP	B SP	B SP	B SP	B SP	B SP	B SP	B SP		V	K	N	S	T
Oleaceae																		
<i>Fraxinus angustifolia</i> Vahl					2 I								P	4	3	2	4	4
<i>Fraxinus excelsior</i> L.		3-5 IV											P	3	4	4	3	3
<i>Fraxinus ornus</i> L.					3 II								P	2	4	2	3	4
<i>Fraxinus pennsylvanica</i> Marshall		2-5 V				3 II	3-5 V	3 II		3 II			P					
<i>Ligustrum vulgare</i> L.		2 II			2 II								P	3	4	2	3	4
Onagraceae																		
<i>Circaea lutetiana</i> L.			3 III										G	4	3	4	2	4
<i>Epilobium hirsutum</i> L.		2-3 V		3 I									H	4	4	4	3	4
<i>Epilobium parviflorum</i> Schreb.										2 I			H	4	3	3	4	3
<i>Oenothera biennis</i> L.					2-3 II	3 II							H	2	2	2	4	3
Orobanchaceae																		
<i>Melampyrum hoermannianum</i> K.Malý		3 II											T					
<i>Melampyrum nemorosum</i> L.			2-3 III										T	3	3	3	3	4
Oxalidaceae																		
<i>Oxalis stricta</i> L.			3 II	2-3 III	3-5 III		5 II		2 I				T					
Papaveraceae																		
<i>Chelidonium majus</i> L.					2-3 III	2 II	2 II						H	3	3	4	3	3
Pinaceae																		
<i>Picea abies</i> (L.) H.Karst.	3-5 III	3 II											P	3	3	3	1	2
Plantaginaceae																		
<i>Linaria vulgaris</i> Mill.						2 I							H	3	3	3	4	3
<i>Plantago lanceolata</i> L.		3-5 V	5 I	3 II	3-5 II	5-7 V	5 III	7 III	5-7 IV			5 II	H	3	3	3	3	3
<i>Plantago major</i> L.		2-5 V	3 I		2 I	5-7 III	2-3 III	7 II	5 II		3-5 IV	5 IV	H	3	3	3	4	3
<i>Plantago media</i> L.	2 V	2 I											H	2	4	2	4	3
<i>Veronica beccabunga</i> L.					3 II						5 II		H	5	3	4	3	3
<i>Veronica persica</i> Poir.									5 I				T	3	4	4	3	3
Poaceae																		

Familija /Vrsta	MOJ		RAD		LIT		VRH		ČAT		ZAG		JAS		SLB		ŽUP		SRM		ŠAB		BEO		ŽF	Indikatorska vrednost						
	B	SP	B	SP	B	SP	B	SP	B	SP	B	SP	B	SP	B	SP	B	SP	B	SP	B	SP	B	SP		V	K	N	S	T		
<i>Alopecurus geniculatus</i> L.																			7	II	5	III	3	II	H	4	3	4	3	4		
<i>Arrhenatherum elatius</i> (L.) P.Beauv. ex J.Presl and C.Presl.											3	II												H	3	3	4	3	3			
<i>Bothriochloa ischaemum</i> (L.) Keng					5-7	IV			5	II	7	II	5	II				7-8	III				3-5	IV	H	2	3	2	5	5		
<i>Brachypodium sylvaticum</i> (Huds.) P.Beauv.					3-5	III																		H	3	3	3	3	3			
<i>Calamagrostis epigejos</i> (L.) Roth							2	II			3	II												H	3	3	3	3	3			
<i>Dactylis glomerata</i> L.	2-3	III					3	II	3	I	3	II			3	II	3	I						H	3	3	4	3	3			
<i>Eragrostis pilosa</i> (L.) P.Beauv.											3	II												T	1	2	3	4	5			
<i>Festuca pratensis</i> Huds.					3	II			3	II	2	II			2	II								H	3	3	3	4	3			
<i>Lolium perenne</i> L.					2	II			2	II					3	II								H	2	4	2	3	3			
<i>Panicum capillare</i> L.					2	I			2-3	III	3	II	3-5	IV	3	II	3-7	IV	3	II				T	2	3	4	4	4			
<i>Panicum crus galli</i> (L.) P.Beauv.					5	II	3	III	5-7	IV	5	II	5-7	V	3-8	V	5-8	IV	7-8	IV	5-7	V	5	IV	T	3	3	4	3	4		
<i>Pennisetum glaucum</i> (L.) R.Br.					3	II			3-5	IV			5	III	5	IV	5-7	III	5	II			3	IV	H	4	2	1	3	3		
<i>Phleum pratense</i> L.	2-3	IV	3	I													3	I						H	3	3	3	3	3			
<i>Phragmites australis</i> (Cav.) Trin. ex Steud.	3-5	IV			3	II	2-3	III	2-3	II														G	5	3	3	3	3			
<i>Poa annua</i> L.																		2	I			3	II		T	3	3	4	4	3		
<i>Poa nemoralis</i> L.							3	II																H	3	3	2	2	3			
<i>Poa palustris</i> L.	3-5	IV									5	II												H	5	4	3	4	3			
<i>Setaria viridis</i> (L.) P.Beauv.									3	II							5	I						T	2	3	4	4	4			
<i>Sorghum halepense</i> (L.) Pers.									3-5	III	3	II	5	IV	3	II									G	2	2	3	4	5		
Polygonaceae																																
<i>Fagopyrum esculentum</i> Moench.									3	I															T							
<i>Persicaria hydropiper</i> (L.) Delarbre					3	II	3	III	3-5	IV	3-7	IV	3-5	V	3	II	3	I	3	III			7	II	T	4	2	3	3	3		
<i>Persicaria lapathifolia</i> (L.) Delarbre					2	II			2-3	III	3-5	III	3-7	IV	5-7	III			5-8	III	3-5	III	3-5	V	7	II	T	3	3	4	3	3
<i>Persicaria minor</i> (Huds.) Opiz									7	II															T	4	2	4	3	3		
<i>Persicaria mitis</i> (Schrank) Holub									2-3	III															T	4	3	4	3	3		
<i>Polygonum aviculare</i> L.									5	V	5	II					7-8	IV	5-9	III				5-7	IV	T	3	3	4	4	3	
<i>Reynoutria japonica</i> Houtt.	3	III	3	IV	3-7	III	5-8	IV	2-8	III	3-7	V													G							
<i>Rumex crispus</i> L.									2	I	3	III	5	I				5	I					3	II	H	3	3	3	4	3	

Familija /Vrsta	MOJ	RAD	LIT	VRH	ČAT	ZAG	JAS	SLB	ŽUP	SRM	ŠAB	BEO	ŽF	Indikatorska vrednost				
	B SP	B SP	B SP	B SP	B SP	B SP	B SP	B SP	B SP	B SP	B SP	B SP	B SP	V	K	N	S	T
<i>Rumex hydrolapathum</i> Huds.			3-5 III		3 I			5 II		3 II			H	5	3	4	3	3
<i>Rumex obtusifolius</i> L.												7 II	H	3	3	4	4	3
<i>Portulaca oleracea</i> L.							7 II		3-7 IV	5 II	5 III	3 II	T	3	3	4	4	3
Primulaceae																		
<i>Cyclamen purpurascens</i> Mill.	2-3 III	3-7 V											G	3	4	3	2	5
<i>Lysimachia nummularia</i> L.										5 II		5 IV	H	4	3	3	2	3
<i>Lysimachia vulgaris</i> L.		2 III			3 I								H	4	3	3	3	3
Ranunculaceae																		
<i>Anemone hepatica</i> L.		3-5 V											H					
<i>Clematis jackmanii</i> T. Moore								3 I					L					
<i>Clematis vitalba</i> L.		7-8 V	3 I	2-5 V	3 II	2 I							P	3	4	3	3	3
<i>Helleborus niger</i> L.		3-7 V											G					
<i>Hepatica nobilis</i> Mill.		3-5 V											H	3	4	2	2	3
<i>Ranunculus acris</i> L.					3-5 III								H					
<i>Ranunculus repens</i> L.	2-5 V	2 IV	3-5 III	5 IV	5 III	2-5 IV	3-5 III	7 IV	5-8 V	5 II		8 II	H	4	3	3	3	3
<i>Thalictrum flavum</i> L.		2 II											H	3	4	2	3	2
Resedaceae																		
<i>Reseda lutea</i> L.			2 I										T	2	4	3	4	4
Rhamnaceae																		
<i>Frangula alnus</i> Mill.	3-5 IV	3 III											P	3	2	2	3	4
<i>Rhamnus cathartica</i> L.					8 II								P	3	4	2	3	3
Rosaceae																		
<i>Aruncus dioicus</i> (Walter) Fernald	2-3 II												H	4	3	4	2	3
<i>Crataegus monogyna</i> Jacq.		2-3 III	3 II	2 I	5 I								P	3	4	2	4	3
<i>Filipendula ulmaria</i> (L.) Maxim.			2-3 III		2 II								H	4	3	3	3	3
<i>Geum urbanum</i> L.		2-3 IV			2 II								H	3	3	4	2	3
<i>Malus sylvestris</i> (L.) Mill.	2 IV	2 II											P	3	3	3	3	3
<i>Potentilla anserina</i> L.								3 IV	2-5 III				H	3	3	4	4	3

Familija /Vrsta	MOJ	RAD	LIT	VRH	ČAT	ZAG	JAS	SLB	ŽUP	SRM	ŠAB	BEO	ŽF	Indikatorska vrednost				
	B SP	B SP	B SP	B SP	B SP	B SP	B SP	B SP	B SP	B SP	B SP	B SP	B SP	V	K	N	S	T
<i>Potentilla reptans</i> L.			5 II		5-7 III		5-7 IV	7 V	5-8 III	7 II		7 II	H	3	3	2	3	3
<i>Prunus avium</i> (L.) L.					2 I								P	2	3	3	4	5
<i>Pyrus communis</i> L.			2 I										P	3	4	3	3	4
<i>Rosa canina</i> L.				2 I	3 II								P	3	3	2	3	3
<i>Rubus caesius</i> L.	3-7 V	5-7 V	3 II	5-8 V	5-8 V	5-8 V	5-7 V	3-5 IV	2 II	5 II		5 II	P	4	3	5	3	4
Rubiaceae																		
<i>Cruciata laevipes</i> Opiz			2-3 III	3 II	3-5 II				5 I				G	3	3	3	4	3
<i>Galium mollugo</i> L.	7 I		5 I	3 III	5 III	7 IV	5-7 III	5 II	5 I				H	3	3	3	3	3
<i>Galium palustre</i> L.	3-5 III	3 IV	3 I										G	5	3	2	3	3
<i>Galium verum</i> L.								2 II	3 I				G	2	4	2	4	3
Salicaceae																		
<i>Populus alba</i> L.									3-7 II	5 II	5 III	3 II	P	3	4	3	4	5
<i>Populus nigra</i> L.	3 II			3 III	3-8 V	3-5 V	3-7 V		5 I	3-7 V	3-7 IV	3 II	P	4	4	4	3	4
<i>Populus tremula</i> L.				2 I						3 II			P	3	3	3	4	3
<i>Salix × fragilis</i> L.				3 II	3 II	5-8 III	7 II	7 II	2 I				P	4	3	3	3	3
<i>Salix alba</i> L.	3-5 IV	5-7 V	5 II	5-7 IV	3-7 V	5-7 IV	5-8 IV	5-7 V	3-8 II	5 V	3-5 III	3-8 V	P	4	4	4	3	3
<i>Salix caprea</i> L.	3-5 IV	5 IV			2 I								P	3	3	3	3	3
<i>Salix cinerea</i> L.					5 II	7 I	3 III						P	5	3	2	4	3
<i>Salix glabra</i> Scop.	3 II												P					
<i>Salix purpurea</i> L.	2-3 V			2 I		2 II							P	3	4	3	4	3
<i>Salix rosmarinifolia</i> L.	5 III												P	4	3	2	4	3
<i>Salix viminalis</i> L.	3-5 IV												P	4	4	3	4	3
Santalaceae																		
<i>Viscum album</i> L.				3-5 III									E					
Sapindaceae																		
<i>Acer campestre</i> L.				3 II	2 III	2-3 III							P	3	4	3	3	4
<i>Acer negundo</i> L.					2-7 IV	3-7 III	5-8 IV		5 I			5 II	P	3	3	3	3	4
<i>Acer pseudoplatanus</i> L.	3-5 IV	3 III	3 I	3 II									P	3	3	3	2	3

Familija /Vrsta	MOJ		RAD		LIT		VRH		ČAT		ZAG		JAS		SLB		ŽUP		SRM		ŠAB		BEO		ŽF	Indikatorska vrednost				
	B	SP	B	SP	B	SP	B	SP	B	SP	B	SP	B	SP	B	SP	B	SP	B	SP	B	SP	B	SP		V	K	N	S	T
<i>Acer tataricum</i> L.									2	I														P	2	4	1	4	5	
Scrophulariaceae																														
<i>Scrophularia nodosa</i> L.							2	I	2	I														H	3	3	3	2	3	
<i>Verbascum blattaria</i> L.									3	II	5	II			3	II	2	I						H	2	4	3	4	4	
<i>Verbascum nigrum</i> L.				2	II						3	III												H	2	3	4	3	3	
Simaroubaceae																														
<i>Ailanthus altissima</i> (Mill.) Swingle																							3	II	P					
Solanaceae																														
<i>Datura stramonium</i> L.											2	I					2-3	III						T	3	3	4	4	4	
<i>Solanum nigrum</i> L.					2	III					3	II	2	I	2-3	II	3	II					7	III	T	3	3	4	4	3
Thymelaeaceae																														
<i>Daphne alpina</i> L.				3-5	IV																			P	2	4	2	4	3	
Typhaceae																														
<i>Typha angustifolia</i> L.				3	IV	3	III		5	II														G	5	3	3	4	4	
Ulmaceae																														
<i>Ulmus glabra</i> Huds.				2-7	V	7	II		2	II	5	II	3-5	III	2	II	2	I	2	II	2	II	2	II	P	4	3	4	2	3
<i>Ulmus laevis</i> Pall.					3-7	III		3-5	II	2-5	IV	5-7	III	3-5	IV	2	II	3	III	2	II	2-3	IV	P	4	4	4	2	3	
Urticaceae																														
<i>Parietaria officinalis</i> L.				2-5	V			5-7	II	3	IV	3	II											H	3	4	4	3	4	
<i>Urtica dioica</i> L.	2-7	V		3-8	II	5-8	V	3-8	V	7-8	IV	7-8	IV	5-7	IV			5-7	IV				3	IV	H	3	3	5	3	3
<i>Urtica urens</i> L.										3	IV	3	II											T	3	3	5	4	3	
Verbenaceae																														
<i>Verbena officinalis</i> L.					3	I		3	II	3	IV	3-5	III	3-5	IV	3-5	II						2	II	H	2	3	4	4	3
Violaceae																														
<i>Viola sylvestris</i> Lam.				3-5	III																			H	3	3	3	2	3	
Vitaceae																														
<i>Parthenocissus quinquefolia</i> (L.) Planch.				5	III			5-8	III	5	II	2	I	5	III								5	II	P					
<i>Vitis vinifera</i> L.								5	III					5	II									L	3	4	3	3	5	

B - brojnost biljne vrste; **SP** - stepen prisutnosti; **ŽF** životna forma; indikatorske vrednosti ekoloških faktora: **V**-vlažnost, **K**-kiselost, **N**-azot, **S**-svetlost i **T**-temperatura

BIOGRAFIJA

Zorana D. Mataruga je rođena u Sremskoj Mitrovici, 28.02.1990. godine. Diplomirala je 2013. godine na Biološkom fakultetu, smer Ekologija i zaštita životne sredine sa prosečnom ocenom 8,69. Master studije je završila 2014. godine sa prosečnom ocenom 10,00. Master rad pod nazivom „GIS analiza prostorne distribucije invazivnih drvenastih vrsta u zaštićenom prirodnom dobru Banjička šuma (Beograd)“, ocenjen je ocenom 10 (deset), čime je kandidat stekla zvanje Master ekolog.

Prvu godinu doktorskih studija upisala je 2014. godine, na smeru Ekologija biljaka i fitogeografija Biološkog fakulteta, Univerziteta u Beogradu.

Zorana D. Mataruga je zaposlena od 04.03.2015. godine kao istraživač pripravnik, na Odeljenju za Ekologiju, Instituta za biološka istraživanja „Siniša Stanković“, Institutu od nacionalnog značaja za Republiku Srbiju, Univerziteta u Beogradu. Od zasnivanja radnog odnosa Zorana D. Mataruga je angažovana u realizaciji naučnog projekta osnovnih istraživanja, finansiranog od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije (ON173018) pod nazivom „Ekofiziološke adaptivne strategije biljaka u uslovima multipnog stresa“ (2011-2019), pod rukovodstvom dr Pavla Pavlovića.

Osim projekta osnovnih istraživanja, angažovana je i na sledećim projektima:

- FP7 projektu „GLOBAQUA Managing the effects of multiple stressors on aquatic ecosystems under water scarcity“ finansiranog od strane Evropske komisije, grant 603629 (2014-2019);
- „Uticaj industrijskih postrojenja na potencijalnu kontaminaciju životne sredine ruralnih naselja Grada Beograda“, Sekretarijat za zaštitu životne sredine Grada Beograda, br. V-01 401.1- 19/16 (2016-2018);
- „Etnobotanička istraživanja diverziteta i upotrebe lekovitih biljaka na prostoru Stare planine (Srbija)“, Srbija šume ŠG „Piroć“, ugovor br. 176/2017-8 (2018);
- „Utvrđivanje prirodnog fona pojedinih štetnih i opasnih materija u zemljištu“, Ministarstvo zaštite životne sredine Republike Srbije, ev. br. 404-02-46/5/2018-02 (2018);
- „Stepen erozije ugroženosti poljoprivrednih zemljišta Zlatiborskog upravnog okruga“, Ministarstvo poljoprivrede, šumarstva i vodoprivrede Republike Srbije, ev. br. 401-00-023224/3/2018-14 (2018);
- „Stepen erozije ugroženosti poljoprivrednih zemljišta Jablaničkog upravnog okruga“, Ministarstvo poljoprivrede, vodoprivrede i šumarstva – Uprava za poljoprivredno zemljište Republike Srbije, ev. br. 401-00-00582/1/2019-14 (2019).

Zorana D. Mataruga je autor/koautor 5 radova publikovanih u međunarodnim časopisima iz kategorije M20, 2 rada publikovanih u nacionalnim časopisima kategorije M50, i 15 saopštenja na naučnim skupovima od međunarodnog i nacionalnog značaja.

Iz ove doktorske disertacije su proistekla 2 naučna rada publikovana u međunarodnim časopisima iz kategorije M22, i jedno saopštenje na naučnom skupu nacionalnog značaja.