

UNIVERZITET U BEOGRADU

HEMIJSKI FAKULTET

Dragana D. Pavlović

**HEMIZAM POTENCIJALNO TOKSIČNIH
ELEMENATA U ZEMLJIŠTU I NJIHOV
UTICAJ NA FUNKCIONISANJE VRSTA
BETULA PENDULA ROTH., *ACER
PSEUDOPLATANUS* L. I *ACER
PLATANOIDES* L. U URBANIM
SREDINAMA NEKOLIKO
INDUSTRIJSKIH CENTARA U SRBIJI**

doktorska disertacija

Beograd, 2018.

UNIVERSITY OF BELGRADE

FACULTY OF CHEMISTRY

Dragana D. Pavlović

**THE CHEMICAL PROPERTIES OF
POTENTIALLY TOXIC ELEMENTS IN
THE SOIL AND THEIR IMPACT ON THE
FUNCTIONING OF THE SPECIES
BETULA PENDULA ROTH., *ACER
PSEUDOPLATANUS* L. AND *ACER
PLATANOIDES* L. IN URBAN AREAS OF
SEVERAL INDUSTRIAL CENTERS IN
SERBIA**

Doctoral Dissertation

Belgrade, 2018.

Mentori:

dr Ivan Gržetić, redovni profesor
Univerzitet u Beogradu
Hemijski fakultet

dr Pavle Pavlović, naučni savetnik
Univerzitet u Beogradu
Institut za biološka istraživanja „Siniša
Stanković“

Članovi komisije:

dr Miroslava Mitrović, naučni savetnik
Univerzitet u Beogradu
Institut za biološka istraživanja „Siniša
Stanković“

dr Aleksandar Popović, redovni profesor
Univerzitet u Beogradu
Hemijski fakultet

dr Radivoje Prodanović, vanredni profesor
Univerzitet u Beogradu
Hemijski fakultet

Datum odbrane: _____

Zahvalnica

Eksperimentalni deo doktorske disertacije urađen je u okviru projekta osnovnih istraživanja Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije „Ekofiziološke adaptivne strategije biljaka u uslovima multipnog stresa” (br. 173018, rukovodilac projekta dr Pavle Pavlović), u okviru Odeljenja za ekologiju Instituta za biološka istraživanja „Siniša Stanković” Univerziteta u Beogradu.

Ovom prilikom želim da se zahvalim mentoru, profesoru dr Ivanu Gržetiću, na pomoći, stručnim sugestijama, smernicama i komentarima prilikom izrade ove doktorske disertacije.

Posebnu zahvalnost dugujem mentoru dr Pavlu Pavloviću, naučnom savetniku Instituta za biološka istraživanja „Siniša Stanković”, Univerziteta u Beogradu, na nesebično pruženoj pomoći, savetima, strpljenju i razumevanju koje je imao sve vreme tokom izrade i pisanja radova i ove doktorske disertacije.

Veliku zahvalnost dugujem dr Miroslavi Mitrović, naučnom savetniku Instituta za biološka istraživanja „Siniša Stanković”, Univerziteta u Beogradu, bez čije bezrezervne pomoći čitav rad ne bi bio izvodljiv. Njena podrška mi je jako značila i mnogo puta bila pokretač i davala snagu da nastavim i disertaciju privedem kraju.

Zahvaljujem se profesoru dr Aleksandru Popoviću i profesoru dr Radivoju Prodanoviću koji su u završnoj fazi pisanja rada dali korisne stručne savete i sugestije.

Zahvaljujem se od srca Mariji Pavlović na nesebičnoj pomoći, razumevanju, podršci i divnom druženju u svakom trenutku. Njena podrška i vedar duh pomogli su da ova teza, u ovom obliku ugleda svetlost dana.

Zahvaljujem se dr Dragani Đorđević i dr Sanji Sakan na pomoći oko savladavanja tehnike BCR sekvencijalne ekstrakcije.

Iskrenu zahvalnost dugujem svim kolegama i kolegamicama sa projekta koji su mi pružali podršku tokom izrade ovog rada.

Beskrajno hvala mojoj porodici na bezrezervnoj podršci bez kojih sve ovo ne bi bilo moguće. Hvala vam što ste uvek verovali, i verujete u mene

Na kraju ovu disertaciju posvećujem mojim ćerkama Dunji i Tijani koje su mi tokom dugog iščekivanja da se ostvare uslovi za odbranu teze ispunile vreme srećom, osmesima i radošću.

Hemizam potencijalno toksičnih elemenata u zemljištu i njihov uticaj na funkcionisanje vrsta *Betula pendula* Roth., *Acer pseudoplatanus* L. i *Acer platanoides* L. u urbanim sredinama nekoliko industrijskih centara u Srbiji

SAŽETAK

Staništa u urbanoj sredini i u industrijskim zonama izložena su hroničnom zagađivanju poreklom iz različitih mobilnih i stacionarnih izvora što kao rezultat može imati kontaminaciju vazduha, zemljišta i voda, a u kombinaciji sa specifičnom urbanom klimom uključujući i „gradska ostrva toplote“ predstavlja izvor stresa za biljke. Poseban vid zagađenja u urbanim sredinama predstavlja zagađenje toksičnim elementima čiji je sadržaj u urbanim zemljištima promenljiv, a njihova mobilnost i biodostupnost zavisi od oblika i asocijacije sa različitim fazama zemljišta. Biljke koje opstaju na urbanim staništima pokazuju različite strukturne i funkcionalne simptome oštećenja u zavisnosti od tipa i intenziteta zagađenja i mogu se koristiti kao biomonitori i/ili bioindikatori zagađenja. U skladu sa tim, osnovni cilj i predmet ove doktorske disertacije je bio da se utvrdi sadržaj, biodostupnost i mobilnosti hemijskih elemenata u urbanim zemljištima, njihova akumulacija u različitim delovima biljaka, kao i njihov uticaj na funkcionisanje biljaka na urbanim staništima. Poligoni za istraživanja su bili urbani parkovi, izloženi različitim izvorima zagađenja u: Pančevu, Smederevu, Obrenovcu i Beogradu, a kao model vrste korišćene su tri drvenaste vrste: *Acer platanoides* L., *Acer pseudoplatanus* L. i *Betula pendula* Roth. Analizirane su osnovne fizičko - hemijske karakteristike zemljišta, i sadržaj hemijskih elemenata u zemljištu i biljnom materijalu. Uzorci zemljišta i biljnog materijala pripremljeni su vlažnom digestijom u mikrotalasnom digestoru pomoću azotne kiseline i vodonik peroksida, a uzorci zemljišta su podvrgnuti i modifikovanoj BCR sekvencijalnoj ekstrakciji. Nakon ekstrakcije, u rastvorima je određivana koncentracija Al, As, B, Cd, Cr, Cu, Fe, Li, Mn, Ni, Pb, Se, Sr i Zn metodom induktivno spregnute plazme sa optičko emisijom spektrometrijom (ICP-OES). Analiziran je fotosintetički odgovor biljaka na efekte potencijalno toksičnih elemenata merenjem efikasnosti fotosinteze i koncentracije fotosintetskih pigmenata ispitivanih vrsta i detektovani su i opisani morfološki simptomi oštećenja listova i stanja struktura periferijskih zaštita listova uključujući i hemijsku analizu atmosferskih čestica deponovanih na spoljašne površine listova. Rezultati su statistički obrađeni korišćenjem

korelacione analize, analize glavnih komponenti, diskriminantne analize i faktorijalne analize varijansi.

Utvrđeno je da analizirana zemljišta pripadaju klasi peskovito-glinovite ilovače i glinovite ilovače, da ih odlikuje mali procenat vlage, organske materije i alkalna reakcija koja predstavlja glavni limitirajući faktor za usvajanje elemenata od strane biljaka, pri čemu je sadržaj B, Cr, Ni i Pb u pojedinim parkovima viši od maksimalno dozvoljenih koncentracija saglasno pravilniku Republike Srbije (SG RS 23/94). Utvrđeno je takođe da ispitivani elementi uglavnom vode poreklo iz matičnog supstrata, ali i da na njihov sadržaj utiču antropogeni izvori zagađenja i specifičan način formiranja urbanih zemljišta. Antropogeni uticaj je najizraženiji u parkovima u Smederevu, Obrenovcu i Beogradu. Sekvencijalnom analizom uzoraka zemljišta utvrđeno je da najmanju mobilnost u ispitivanim zemljištima imaju Al, Cr i Fe, ukazujući na njihovu snažnu strukturnu povezanost sa primarnim i sekundarnim silikatnim mineralima zemljišta i njihovu slabu dostupnost biljkama. Cu, Li, Ni i Pb su slabo mobilni i veoma stabilni elementi, dok se Zn i B svrstavaju u grupu srednje mobilnih elemenata. Mangan i Sr odlikuje najveća mobilnost i potencijalna dostupnost biljkama. Merenje i analiza akumulacije potencijalno toksičnih elemenata u listovima i kori, efikasnosti fotosinteze i sadržaja fotosintetičkih pigmenata su pokazale da ispitivane vrste generalno pokazuju malu osetljivost na stresne efekte akumuliranih elemenata, ali i da postoje razlike specifične za vrstu. Na osnovu analiziranih morfo - fizioloških parametara ispitivanih biljaka, utvrđena je određena gradacija u smislu tolerantnosti na efekte potencijalno toksičnih elemenata: breza > mleč > javor. Imajući u vidu sve navedeno, jasno je da ispitivane vrste ne mogu biti dobar izbor za bioindikaciju i/ili biomonitoring kvaliteta urbane sredine, izuzev u slučaju Sr gde bi eventualno mogle da se primene kao bioindikatori.

Ključne reči: urbana zemljišta, sekvencijalna ekstrakcija, potencijalno toksični elementi, mobilnost, biodostupnost, *Acer platanoides* L., *Acer pseudoplatanus* L., *Betula pendula* Roth.

Naučna oblast: Biohemija & Hemija životne sredine

Uža naučni oblast: Ekologija i zaštita životne sredine

UDK broj: 504.577

The chemical properties of potentially toxic elements in soil and their impact on the functioning of the species *Betula pendula* Roth., *Acer pseudoplatanus* L. and *Acer platanoides* L. in urban areas of several industrial centres in Serbia

ABSTRACT

Habitats in the urban environment and industrial zones are exposed to chronic pollution originating from various mobile and stationary sources, which can result in air, soil and water contamination. All of these, combined with the specific urban climate, including "urban heat islands", are a source of stress for plants. A special type of pollution in urban areas is caused by toxic elements; their content in urban soils varies and their mobility and bioavailability depend on forms and associations with different soil phases. Plants that survive in the urban environment exhibit different structural and functional damage symptoms depending on pollution type and intensity and can be used as biomonitors and/or bioindicators of pollution. Accordingly, the main aim and subject of this doctoral dissertation was to determine the content, bioavailability and mobility of chemical elements in urban soils, their accumulation in different plant parts, and their impact on the functioning of plants in urban habitats. The study area comprised urban parks exposed to various pollution sources in Pančevo, Smederevo, Obrenovac and Belgrade, while three tree species were used: *Acer platanoides* L., *Acer pseudoplatanus* L. and *Betula pendula* Roth. Selected physical and chemical soil parameters and chemical element content in soil and plant material were analysed. Soil samples and plant material were digested in a microwave, using nitric acid and hydrogen peroxide, and the soil samples were extracted according to a modified BCR sequential method. After extraction, Al, As, B, Cd, Cr, Cu, Fe, Li, Mn, Ni, Pb, Se, Sr and Zn concentrations were measured by inductively coupled plasma optical emission spectrometry (ICP-OES). The photosynthetic response of the plants to the effects of potentially toxic elements was analysed by measuring photosynthetic efficiency and photosynthetic pigment content in the investigated species. In addition, morphological symptoms of leaf damage and the condition of the peripheral leaf protection structures were also described, including a chemical analysis of atmospheric particles deposited on the outer surface of the leaves. The results were statistically analysed using correlation analysis, principal component analysis, discriminant analysis, and factorial analyses of variance.

It was found that the analysed soils belonged to the class of sandy clay loam and clay loam, characterised a low percentage of moisture and organic matter, and an alkaline reaction, which was the main limiting factor for the absorption of elements by plants, whereby B, Cr, Ni and Pb content in some parks was higher than the maximum allowed concentration in accordance with the regulations of the Republic of Serbia (SG RS 23/94). Moreover, it was found that the investigated elements originated mainly from the parent rock, but that their content was also influenced by anthropogenic sources of pollution and the specific way urban soils are formed. The anthropogenic impact was most pronounced in the parks in Smederevo, Obrenovac and Belgrade. Sequential analysis of soil samples found that Al, Cr and Fe exhibited the lowest mobility at the investigated sites, indicating their strong structural connection with primary and secondary silicate soil minerals and their low availability to plants. Cu, Li, Ni and Pb exhibited poor mobility and were very stable elements, while Zn and B were classified as elements with medium mobility. Manganese and Sr were characterised by the highest level of mobility and potential availability in plants. The measurement and analysis of the accumulation of potentially toxic elements in leaves and bark, photosynthetic efficiency and photosynthetic pigment content revealed that the tested species generally displayed low sensitivity to the stress effects of the accumulated elements and that there were species-specific differences. Based on the analysed morpho - physiological parameters of the investigated plants, a certain gradation was determined in terms of tolerance to the effects of potentially toxic elements: birch > Norway maple > sycamore maple. Bearing in mind all the above, it is clear that the examined species are not good choices for bioindication and/or the biomonitoring of pollution in urban environments, except in the case of Sr, when they could possibly be used as bioindicators.

Keywords: urban soils, sequential extraction, potentially toxic elements, mobility, bioavailability, *Acer platanoides* L., *Acer pseudoplatanus* L., *Betula pendula* Roth.

Scientific Field: Biochemistry & Environmental chemistry

Scientific Subfield: Ecology & Environmental protection

UDC number: 504.577

Sadržaj

I UVOD	1
II OPŠTE KARAKTERISTIKE ISPITIVANIH LOKALITETA	10
2.1. Pančevo.....	10
2.2. Smederevo	12
2.3. Obrenovac.....	14
2.4. Beograd.....	16
III OPŠTE KARAKTERISTIKE ISPITIVANIH VRSTA BILJAKA	19
3.1. Mleč, platanolisni javor (<i>Acer platanoides</i> L.)	19
3.2. Javor (<i>Acer pseudoplatanus</i> L.)	20
3.3. Breza (<i>Betula pendula</i> Roth.)	21
IV MATERIJAL I METODE.....	23
4.1. Opis mesta uzorkovanja na odabranim lokalitetima.....	23
4.2. Klimatski podaci za ispitivane lokalitete tokom 2012. godine.....	25
4.3. Stanje vazduha na ispitivanim lokalitetima tokom 2012. godine.....	28
4.4. Uzorkovanje zemljišta i biljnog materijala.....	30
4.5. Analiza zemljišta	30
4.6. Analiza biljnog materijala	32
4.7. Reagensi i oprema	34
4.8. Statistička obrada dobijenih podataka	35
V REZULTATI	36
5.1. Fizičko – hemijske karakteristike zemljišta.....	36
5.1.1. Fizičke osobine zemljišta.....	36
5.1.2. Hemijske osobine zemljišta	38
5.1.3. Sadržaj potencijalno toksičnih elemenata u zemljištu	39
5.1.4. Utvrđivanje porekla i odnosa između potencijalno toksičnih elemenata u zemljištu na kojem rastu ispitivane biljne vrste.....	47
5.1.5. Frakcionisanje potencijalno toksičnih elemenata u zemljištu metodom optimizovane BCR sekvencionalne ekstrakcije	52
5.2. Sadržaj potencijalno toksičnih elemenata u listovima i kori ispitivanih biljaka .	64
5.2.1. Sadržaj potencijalno toksičnih elemenata u listovima ispitivanih biljaka....	64
5.2.2. Sadržaj potencijalno toksičnih elemenata u kori ispitivanih biljaka	89
5.2.3. Biokoncentracioni faktor (BCF) kod ispitivanih biljaka	118
5.3. Efekat zagađivanja potencijalno toksičnim elementima na morfo – fiziološke karakteristike ispitivanih biljaka.....	120

5.3.1. Kinetika florescencije hlorofila, količina hlorofila i karotenoida u listovima ispitivanih biljaka	120
5.3.2. Morfološki simptomi oštećenja listova ispitivanih biljaka.....	146
5.3.3. Stanje struktura periferijskih zaštita listova ispitivanih biljaka i karakteristike čestica deponovanih na njihovoj površini	150
VI DISKUSIJA.....	162
6.1. Fizičko – hemijske karakteristike zemljišta i njihov uticaj na funkcionisanje ispitivanih biljaka na urbanim staništima	162
6.1.1. Fizičke osobine zemljišta.....	162
6.1.2. Hemijske osobine zemljišta	163
6.1.3. Hemizam potencijalno toksičnih elemenata u zemljištu i njihov uticaj na funkcionisanje ispitivanih biljaka	165
6.1.4. Razlike između vrsta utvrđene na osnovu sadržaja potencijalno toksičnih elemenata i fizioloških parametara	210
6.1.5. Razlike između lokaliteta utvrđene na osnovu sadržaja potencijalno toksičnih elemenata i fizioloških parametara ispitivanih vrsta biljaka	211
6.1.6. Stanje struktura periferijskih zaštita listova ispitivanih biljaka i karakteristike čestica deponovanih na njihovoj površini	213
VII ZAKLJUČAK	217
VIII LITERATURA	221

I UVOD

Intenzivna urbanizacija i industrijalizacija dovela je do razvoja novih i širenja postojećih gradova i industrijskih basena u kojima danas, po prvi put u istoriji, živi više od polovine ljudske populacije što proces urbanizacije čini ključnim fenomenom ekonomskog razvoja koji vodi do značajnog povećanja broja ljudi, ekonomskih aktivnosti i potrošnje resursa u gradovima. Uprkos činjenici da gradovi zauzimaju samo 2 % površine Zemlje, oni su odgovorni za čak 75 % potrošnje resursa na globalnom nivou (Arnfield 2003; Akbari & Konopacki 2005; Biasioli et al. 2006; Madlener & Sunak 2011; Galitskova & Murzayev 2016). Ovaj trend će se bez sumnje nastaviti upravo zbog ubrzane i intenzivne urbanizacije. Upravo zato gradovi predstavljaju specifične sredine čija je stabilnost ugrožena različitim antropogenim pritiscima. Zagađivanje vazduha, vode, zemljišta i vegetacije javlja se kao osnovni problem u gradovima i industrijskim zonama koje su najčešće u ili pored velikih gradova. Zato je poslednjih nekoliko decenija u svetu aktuelan multidisciplinarni pristup istraživanju problema zagađivanja životne sredine u urbanim i industrijskim regionima (Kadi et al. 2009; Tchounwou et al. 2012). Glavne izvore zagađenja u ovakvim sredinama čine produkti sagorevanja poreklom iz industrije, saobraćaja, gradskih toplana, individualnih ložišta, građevinskih delatnosti ali i neodgovarajućeg skladištenja industrijskog i komunalnog otpada (Biasioli et al. 2006; Li et al. 2007; Madrid et al. 2008; Sharma et al. 2009; Bielicka-Gieldoń et al. 2013; Hamad et al. 2014; Jiao et al. 2015; Pan et al. 2016; Gu et al. 2016; Pavlović & Mitrović 2016). Pored toga, strukturne, topografske i infrastrukturne specifičnosti grada uslovljavaju drugačiju cirkulaciju vazduha i način oticanja voda i često nedostatak vegetacije što je zajedno sa promenom u kvalitetu vazduha dovelo do stvaranja specifične mikroklimе u gradovima. Velika zastupljenost materijala visokog toplotnog kapaciteta u infrastrukturi grada im omogućava da tokom dana akumuliraju toplotnu energiju koju emituju noću, kada je i efekat „urbanih ostrva toplote“ najizraženiji. Zato temperatura u gusto naseljenim sredinama često ume da bude od 1-3 °C, pa čak i 5 °C viša u odnosu na ruralna područja (Unkašević 1994; Akbari et al. 2001; Arnfield 2003; Edmondson et al. 2016). Pored povišene temperature izražena je veća količina aerosola u vazduhu čijim spiranjem nastaju kisele padavine

koje nepovoljno deluju na celokupni biljni svet. Ozelenjavanje urbanih sredina kroz izgradnju parkova i zelenih oaza ima veliki značaj za smanjenje odnosno ublažavanje nepovoljnih efekata klime i zagađenja urbane sredine i u očuvanju urbanih ekosistema (Edmondson et al. 2016). Uslovi emitovanja zagađivača, klimatske prilike i način ozelenjavanja takođe utiču na zagađivanje zemljišta različitim organskim i neorganskim zagađujućim materijama i menjanju njegove fizičko-hemijske karakteristike (Mitrović 1998).

Zemljište je složen i specifičan sloj zemljine kore nastao kao rezultat zajedničkog i uzajamnog dejstva litosfere, atmosfere, hidrosfere i biosfere (Antić et al. 1982; Alloway 1995). Pored toga što predstavlja geohemijski „akumulator“ zagađivača, zemljište ima važnu ulogu u procesima u životnoj sredini gde se ponaša kao prirodni pufer koji kontroliše transport hemijskih elemenata i jedinjenja do atmosfere, hidrosfere i živog sveta (Kabata Pendias & Pendias 2001). U poslednjoj deceniji, jedna od najvažnijih tema u izučavanju životne sredine jeste proučavanje urbanih zemljišta zbog činjenice da njihove karakteristike imaju snažan uticaj na kvalitet života ljudi u gradovima (Wong et al. 2006; Vegter 2007; Morel & Heinrich 2008). Od svih prirodnih tela, zemljište je najinertnije ali je u gradovima konstantno izloženo različitim antropogenim uticajima, direktnoj i indirektnoj ljudskoj aktivnosti zbog čega u odnosu na zemljište u prirodnim sredinama, često ima narušenu strukturu, izmenjene fizičko-hemijske karakteristike uključujući smanjen sadržaj hranjivih materija ali i osiromašenu faunu (Milošević et al. 2014; Galitskova & Murzayev 2016). Na maloj površini gradska zemljišta se mogu međusobno ekstremno razlikovati, ona mogu biti skeletna usled nasipanja peska, šljunka i različitog građevinskog otpada (šljaka, beton, malter, staklo, plastika i dr.), zatim mogu biti sabijena usled gaženja, ali takođe mogu biti i nitrifikovana usled unošenja različitih organskih materija (papir, tekstil, delovi biljaka i dr.) koje ulaze u proces razlaganja. Stoga je jasno da svako gradsko zemljište poseduje neke specifičnosti koje mogu da otežaju, ali i da podrže razvoj biljaka i time pruže stanovnicima u gradskim sredinama brojne usluge koje pružaju urbani ekosistemi (Jovanović 1994; Mitrović 1998; Biasioli et al. 2006; Li et al. 2013; Milošević et al. 2014; Grubin 2016). Kvalitet zemljišta je od presudne važnosti za životnu sredinu koja je u urbanim i industrijalizovanim sredinama narušena usled oslobađanja različitih zagađujućih materija poreklom iz mobilnih i stacionarnih izvora. Bez sumnje, saobraćaj

predstavlja jedan od glavnih izvora zagađujućih materija u urbanim sredinama koje negativno utiču na stanje i kvalitet zemljišta, vegetaciju i stanovništvo (Curtis et al. 2006; Pope & Dockery 2006). Pored zagađenja, glavna karakteristika urbanih zemljišta jeste prekrivanje zemljišta nepropusnim slojem (beton, asfalt), ograničavajući tako površinu zemljišta pogodnu za ozelenjavanje. Dodatni problem urbanog zemljišta predstavlja prisustvo visokog sadržaja kamenja i drugih stranih činilaca (Burghardt et al. 2015). Poseban tip zagađujućih materija u urbanim zemljištima predstavljaju teški metali (Madrid et al. 2002; Imperato et al. 2003; Biasioli et al. 2006). Rizik od zagađivanja teškim metalima leži u činjenici da su perzistentni i ne podležu biološkoj razgradnji zbog čega kada dospeju u zemljište ostaju tu veoma dugo i dostupni su biljkama za usvajanje (Biasioli et al. 2006; Madrid et al. 2008; Sharma et al. 2009; Tokalioğlu et al. 2010; Wuana & Okieimen 2011; Ghrefat et al. 2012; Mihailović et al. 2015).

Kada je reč o teškim metalima, u literaturi postoje terminološke neusaglašenosti. Termin „teški metali“ obično se odnosi na elemente koji imaju gustinu veću od 5 g/cm^3 i tu se svrstavaju metali i metaloidi koji se najčešće dovode u vezu sa zagađenjem, potencijalnom toksičnošću i ekotoksičnošću, ali takođe obuhvata i elemente koji su potrebni organizmima u određenim koncentracijama (Adriano 2001; Duffus 2002). Hemijski elementi mogu da se svrstaju u makroelemente koje čine osam najzastupljenijih elemenata Zemljine kore (O, Si, Al, Fe, Ca, Na, K i Mg) i mikroelemente ili elemente u tragovima među koje se ubrajaju svi elementi čija je zastupljenost u zemljištu manja od 0,1 % (Adriano 2001). Neki mikroelementi biljkama su neophodni za obavljanje osnovnih fizioloških funkcija i oni se nazivaju esencijalnim (B, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni i Zn), dok ostali elementi koji su prisutni u zemljištu i čak u malim koncentracijama nepovoljno utiču na biljke, životinje i čoveka često se nazivaju toksičnim (As, Cd, Cr, Pb, Hg). Pritom i esencijalni elementi ako su prisutni u povišenim koncentracijama mogu imati toksičan efekat na biljke pa se o njima govori kao potencijalno toksičnim elementima. Zato elemente (Al, As, B, Cd, Cr, Cu, Fe, Li, Mn, Ni, Pb, Se, Sr, Zn) koji su bili predmet merenja i analize u ovoj disertaciji u koje spadaju makro i mikroelementi, odnosno esencijalni i toksični elementi posmatramo-označavamo kao potencijalno toksične elemente.

Toksični elementi u prirodnim zemljištima uglavnom vode poreklo iz stena i minerala koji sačinjavaju Zemljinu koru, dok su u urbanim zemljištima često i antropogenog porekla (Wuana & Okieimen 2011; Šerbula et al. 2012; Chang et al. 2014). U urbanim zemljištima glavni antropogeni izvori toksičnih elemenata su polutanti poreklom iz industrije, saobraćaja, industrijskog i urbanog otpada (Alloway 1995). Najveći deo industrije u svojim proizvodnim procesima koristi različite rudne resurse čijim sagorevanjem i topljenjem dolazi do emisije prašine, dima, suspendovanih čestica koje sadrže toksične elemente, a koji se iz vazduha talože u zemljištu (Pavlović & Mitrović 2016). Aktivnosti vezane za saobraćaj takođe dovode do emisije toksičnih elemenata u vidu prašine i suspendovanih čestica iz izduvnih gasova automobila ili čestica nastalih habanjem različitih delova vozila i trenjem guma o kolovozne površine (Van Bohemen & Van de Laak 2003; Akan et al. 2013). Elementi čije se poreklo u urbanim zemljištima vezuje za saobraćaj i čije se koncentracije najčešće mere i prate su Pb, Cu, Zn, Cd i Cr. Komunalni otpad odlikuje heterogeni hemijski sastav i često sadrži velike količine Cd, Pb, Zn i Cu. Nepažljivo odlaganje komunalnog otpada na malim površinama može da dovede do akumulacije vrlo visokih koncentracija toksičnih elemenata u zemljištu (Mrvić et al. 2009). Bez obzira na poreklo toksičnih elemenata u zemljištu, njihova koncentracija, mobilnost i potencijalna dostupnost biljkama, zavise od matičnog supstrata, pH reakcije, količine organske materije i gline u zemljištu, fizičkih karakteristika zemljišta, vlažnosti, prisustva drugih hemijskih supstanci i drugih faktora (Nagajyoti et al. 2010; Ghrefat et al. 2012; Gu et al. 2016; Gržetić et al. 2008; Pavlović & Mitrović 2016). Upravo zbog ovih osobina toksičnih elemenata, brojna istraživanja su sprovedena na temu određivanja njihovog ukupnog sadržaja i ponašanja u zemljištu, kao i njihovog potencijalnog uticaja na životnu sredinu (Crnković et al. 2006; Nannoni et al. 2011; Kuzmanoski et al. 2014; Islam et al. 2015; Jiao et al. 2015; Matong et al. 2016; Cakmak et al. 2018). Rezultati ovakvih istraživanja doprinose karakterizaciji kontaminacije i omogućavaju iznalaženje adekvatnih načina za zaštitu i obnavljanje zagađenih urbanih zemljišta.

Distribucija toksičnih elemenata u zemljištu podložna je stalnim izmenama usled uticaja abiotičkih i biotičkih faktora životne sredine koji utiču na različite procese u zemljištu. Toksični elementi antropogenog porekla obično su deponovani u površinskim slojevima zemljišta koji predstavljaju kompleksan i dinamičan sistem i koji

su zbog toga odličan medijum za monitoring zagađenja (Biasioli et al. 2006; Morton-Bermea et al. 2009; Pavlović & Mitrović 2016; Cakmak et al. 2018). Određivanje ukupne količine toksičnih elemenata u zemljištu predstavlja koristan parametar za procenu zagađenja i utvrđivanje njihovog porekla, ali ne pruža dovoljno informacija o njihovoj potencijalnoj mobilnosti i biodostupnosti (Tokalioğlu et al. 2000; Bashir et al. 2014; You et al. 2016; Gu et al. 2016; Barać 2017). Za procenu potencijalne mobilnosti i biodostupnosti koriste se različite sekvencijalne ekstrakcione procedure koje pružaju informacije o glavnim mestima vezivanja i raspodeli toksičnih elemenata u različitim geohemijskim fazama zemljišta sukcesivnom upotrebom ekstrakcionih sredstava različite jačine (Sutherland 2010; Bashir et al. 2014; Caporale & Violante 2016). Jedna od najzastupljenijih sekvencijalnih ekstrakcionih procedura, koja je u nešto izmenjenom obliku primenjena i u ovom radu, je BCR sekvencijalna procedura koja je predložena i sertifikovana od strane Evropskog biroa za referentne materijale (European Community Bureau of Reference - BCR), i koja je primenjiva za ekstrakciju metala iz različitih vrsta uzoraka (zemljište, sediment, otpadni mulj, suspendovane čestice iz vazduha i dr.), (de Andrade Passos et al. 2010; Sutherland 2010; Bielicka-Giełdoń et al. 2013; Sakan et al. 2016). BCR sekvencijalnom ekstrakcijom vrši se frakcionisanje metala u tri faze: prva izmenjiva i kiselo rastvorna, druga reducibilna, treća oksidabilna, a kao četvrti dodatni korak se preporučuje digestija carskom vodom (Davidson et al. 2006; Krčmar et al. 2010; Relić et al. 2013; Sakan et al. 2016). Prednost ove ekstrakcione procedure je ta da je ona registrovana od niza sličnih koje se primenjuju u praksi, a ogleda se u postojanju sertifikovanog referentnog materijala, a pored toga je i manje vremenski zahtevna i omogućava međulaboratorijsko poređenje (Davidson et al. 2006; Bielicka-Giełdoń et al. 2013). Smatra se da metali oslobođeni u prve tri faze ekstrakcije verovatno imaju antropogeno poreklo i potencijalno su dostupni biljkama za usvajanje, dok oni prisutni u četvrtoj-rezidualnoj frakciji imaju geološko poreklo i nisu dostupni ni biljkama ni mikroorganizmima jer ostaju inkorporisani u kristalnu strukturu (Krčmar 2010; Ghrefat et al. 2012; Bielicka-Giełdoń et al. 2013; Bashir et al. 2014). Potrebno je istaći da frakcionisanje zemljišta pruža dobru osnovu za razumevanje hemizma elemenata u zemljištu i procenu potencijalno dostupnih oblika, ali kada govorimo o ukupnoj biodostupnosti metala ne mogu se isključiti i drugi faktori koji utiču na njihovo ponašanje, usvajanje i akumulaciju, a to su pre svega mikroorganizmi u zemljištu i

vegetacija (Kabata Pendias & Pendias 2001; Nagajyoti et al. 2010; Tchounwou et al. 2012). Ovi faktori tokom vremena mogu da se menjaju, tako da u jednom trenutku neki element može biti rastvorljiv i dostupan, dok kasnije može postati nerastvoran i manje dostupan i obrnuto.

Biljke kao sastavni deo svakog urbanog ekosistema takođe su izložene štetnom uticaju polutanata spoljašnje sredine među koje spadaju i toksični elemenati (Mitrović et al. 2006; Gajić et al. 2009; Andrejić et al. 2016; Rai & Panda, 2015; Sen et al. 2017). Biljke usvajaju toksične elemente iz zemljišta putem korena i iz vazduha putem listova. Usvajanje, akumulacija i translokacija toksičnih elemenata pre svega zavisi od osobina vrste, ali i svojstva zemljišta i drugih ekoloških faktora koji takođe imaju važnu ulogu (Doganlar et al. 2012). Nadzemni delovi biljke predstavljaju pogodne površine za deponovanje atmosferskih čestica (Kulshreshtha et al. 2009) i efikasni su u uklanjanju čestica polutanata iz atmosfere (Sharma et al. 2015). Jedan deo polutanata deponovanih na površinu lista može da proдре kroz površinske strukture i tako dospe u unutrašnja tkiva (Mingorance & Rossini 2006; Rossini & Mingorance 2006; Tomašević et al. 2008; Sharma et al. 2009; Sawidis et al. 2011) ili da ostane nataložen na njenoj površini. Strujanje vazduha, padavine, veličina čestica, struktura listova su parametri koji utiču na karakteristike atmosferske depozicije (Mitrović 1998; Sawidis et al. 2011; Doganlar et al. 2012; Popek et al. 2013; Gajić 2014; Simon et al. 2014; Sæbø et al. 2015; Sharma et al. 2015; Deljanin et al. 2016). Zbog ove svoje osobine biljke koje rastu na zagađenim staništima nalaze sve veću svoju primenu kao biomonitori ili bioindikatori zagađenja (Markert 1993; Bargagli 1998; Mitrović 1998; Mignorance & Rossini 2006; Baycu et al. 2006; Rai & Kulshreshtha 2006; Al-Khlaifat & Al-Khashman 2007; Tomašević et al. 2008; Qiu et al. 2009; Gajić et al. 2009; Sharma et al. 2015; Rai & Panda 2015; Pavlović et al. 2017a; Pavlović et al. 2017b). Prednosti njihovog korišćenja u proceni stanja životne sredine su veća dostupnost biološkog materijala, jednostavnost identifikacije i uzorkovanja, i opšta prisutnost nekih rodova što omogućava istraživanje na većim prostornim skalama (Massa et al. 2010; Sawidis et al. 2011; Kandziora-Ciupa et al. 2016). Posebno su u tom smislu značajne drvenaste vrste biljaka, odnosno njihovi različiti delovi, koje kao sesilni i dugovečni organizmi reflektuju zbirni efekat polutanata ali i drugih stresora na staništu. Hemijska analiza listova je široko rasprostranjena metoda za procenu stanja životne sredine, ali se i kora zbog svoje

strukture, poroznosti i potencijala za akumulaciju smatra kvalitetnim indikatorom zagađenja vazduha (Berlizov et al. 2007; Samecka-Cymerman et al. 2009; Šerbula et al. 2013). Međutim, stres zagađivanja toksičnim elementima zajedno sa drugim stresnim faktorima koji su prisutni u urbanim sredinama utiču na brojne procese u biljkama, a efekat njihovog delovanja može se pratiti na morfološkom, fiziološkom i biohemijskom nivou (Doganlar et al. 2012; Gajić et al. 2009; Gajić 2014; Kostić 2014; Sharma et al. 2015; Sen et al. 2017). U stresnim uslovima urbane sredine biljke razvijaju adaptacije, a odgovor biljaka na stres zavisi od genetičke predispozicije, ekoloških uslova staništa, koncentracije i kombinacije polutanata, dužine trajanja stresa i niza drugih faktora. Neki od ekofizioloških parametara mogu se koristiti kao osetljivi dijagnostički parametri za procenu toksičnih efekata teških metala i drugih stresnih faktora na biljke kao i za i procenu stanja životne sredine (Gajić et al. 2013; Kostić et al. 2012; Rai & Panda 2015). Na osnovu vrednosti ovih parametara biljke je moguće svrstati u tolerantne i osetljive na zagađenje (Sen et al. 2017). Parametri koji se najčešće koriste u tu svrhu su efikasnost fotosinteze, sadržaj fotosintetskih pigmenata (ukupni hlorofili, Chl a, Chl b, Tot Carot), askorbinska kiselina, prolin, aktivnost enzima i dr. (Doganlar et al. 2012; Palit et al. 2013; Gajić et al. 2013; Kostić et al. 2012; Gajić et al. 2016; Sen et al. 2017).

Fotosinteza je fundamentalni fiziološki proces koji primarno određuje rast i reproduktivnost biljaka. Stresni uslovi koji vladaju u urbanoj sredini dovode do fotoinhibitornih oštećenja i otežanog odvijanja procesa. Mesta delovanja polutanata su različita i zavise od njihovog tipa, koncentracije i dužine trajanja stresa. Polutanti svoje dejstvo mogu ispoljiti na različitim nivoima, od inhibicije sinteze nekog enzima ključnog za proces, pa sve do narušavanja elektron transportnog lanca i prometa gasova kroz stome. Stoga praćenje promena vrednosti parametra efikasnosti fotosinteze predstavlja koristan indikator zagađenja, s obzirom da se štetno dejstvo toksičnih elemenata i drugih faktora stresa ogleda u smanjenju efikasnosti fotosinteze (Maxwell & Johnson 2000). Sadržaj fotosintetskih pigmenata u listovima biljaka zajedno sa efikasnošću fotosinteze obezbeđuje korisnu informaciju o fiziološkom statusu biljaka, a promene u njihovom sadržaju mogu biti pokazatelj uticaja promenljivih faktora sredine na fiziološki status biljaka uključujući zagađivanje (Joshi & Swami 2009; Cervilla et al. 2012; Doganlar et al. 2012; Palit et al. 2013; Gajić et al. 2016; Sen et al. 2017; Pavlović et al. 2017d; Cakmak et al. 2018; Pavlović et al. 2018).

U Srbiji, posebno u Beogradu predmet brojnih istraživanja bila je procena zagađenosti zemljišta potencijalno toksičnim elementima (Crnković et al. 2006; Ristić & Marjanović 2006; Gržetić & Ghariani 2008; Andrejić et al. 2016; Mihailović et al. 2015; Kuzmanoski et al. 2014). Takođe predmet istraživanja bile su različite drvenaste vrste, odnosno njihov potencijal za akumulaciju elemenata i upotrebu u svrhu biomonitoringa (Mitrović et al. 2006; Tomašević et al. 2008, 2011; Šućur et al. 2010; Aničić et al. 2011; Deljanin et al. 2014, 2016).

Cilj ove doktorske disertacije je bio utvrđivanje nivoa biodostupnosti i mobilnosti hemijskih elemenata u urbanim zemljištima, utvrđivanje toksičnih efekata elemenata akumuliranih u ispitivanim biljkama kroz analizu ekofizioloških parametara odgovora biljaka na efekte stresa zagađivanja zemljišta, identifikacija toksičnih elemenata u zemljištu koji limitiraju funkcionisanje ispitivanih drvenastih vrsta biljaka u urbanim zonama i identifikacija biljnih vrsta koje svojim adaptivnim kapacitetom mogu poslužiti u kreiranju strategija ekološkog obnavljanja degradiranih urbanih ekosistema.

Lokaliteti za ispitivanje su bili urbani parkovi izloženi različitim izvorima zagađenja u Pančevu (dominantni izvor zagađenja poreklom iz NIS-RNP rafinerije nafte Pančevo, fabrike azotnih đubriva HIP Azotara d.o.o., petrohemijske industrije HIP-Petrohemija); Smederevu (dominantni izvor zagađenja poreklom iz železare „Hesteel Serbia Iron & Steel d.o.o. Beograd“); Obrenovcu (dominantni izvor zagađenja poreklom iz dve termoelektrane „Nikola Tesla A“ i „Nikola Tesla B“ i dve deponije pepela i šljake nastalih sagorevanjem uglja, ukupne površine oko 1000 ha) i u Beogradu (dominantni izvor zagađenja poreklom iz saobraćaja). Kontrolni lokaliteti su bili Topčiderski park u Beogradu, formiran u zoni nekadašnje autohtone šume hrasta sladuna i cera (*Quercetum farinetto cerris* Rud.) i Arboretum Šumarskog fakulteta Univerziteta u Beogradu.

Model vrste za ova ispitivanja su bile tri drvenaste vrste biljaka: mleč (*Acer platanoides* L.), javor (*Acer pseudoplatanus* L.) i breza (*Betula pendula* Roth.), a kriterijumi za izbor ovih vrsta su bili da su one prisutne na svim istraživanim lokalitetima i da su individue ovih vrsta približno iste starosti.

Elementi koji su analizirani obuhvatali su esencijalne elemente (B, Cu, Fe, Mn, Ni i Zn), toksične elemente (As, Cd, Cr, Pb, Se i Sr) i elemente dominantno geološkog porekla (Al i Li).

Rezultati istraživanja koje su predmet ove disertacije trebalo bi da doprinesu razumevanju hemizma ispitivanih elemenata u zemljištu i sagledavanju njihove mobilnosti, biodostupnosti i potencijalne toksičnosti. Takođe bi trebalo da doprinesu razumevanju efekata zagađivanja na biljke, pre svega drvenaste vrste. Pored naučnog doprinosa ova disertacija ima aplikativnu stranu kroz definisanje vrsta koje poseduju najbolje izbalansiran ekološki potencijal sa ekološkim potencijalom degradovanih staništa, i mogu poslužiti za obnavljanje ekosistema degradovanih antropogenim aktivnostima odnosno unapređenje životne sredine u urbanim i industrijskim zonama.

II OPŠTE KARAKTERISTIKE ISPITIVANIH LOKALITETA

2.1. Pančevo

Geografski položaj, reljef, geološke, geomorfološke, pedološke, klimatske, hidrološke i biogeografske karakteristike Pančeva

Grad Pančevo se nalazi u Republici Srbiji, na jugu Autonomne Pokrajine Vojvodine, 18 km severoistočno od glavnog grada Srbije-Beograda. Zahvata teritoriju jugozapadnog Banata u porečju Dunava, Tamiša i Nadele. Na severu se graniči sa opštinama Opovo i Kovačica, na severoistoku sa opštinom Alibunar, a na istoku sa opštinom Kovin. Južnu i zapadnu granicu čine reke Tamiš i Dunav. Zauzima površinu od 755 km² koja je pozicionirana na 44°39' i 45°02' severne geografske širine i 20°32' i 20°55' istočne geografske dužine, na prosečnoj nadmorskoj visini od 77 m. Prema rezultatima popisa iz 2011. godine na široj teritoriji grada živi 123414 stanovnika, a u samom gradu 90776 stanovnika, što ga svrstava u jedan od najgušće naseljenih gradova u Vojvodini (LEAP 2004; Republički zavod za statistiku RS 2012; Brzaković et al. 2013).

Osnovnu odliku geološke građe teritorije Pančeva čine formacije kvartarne starosti i to su obično kvartarni sedimenti, koji se javljaju u vidu holpecenih peskova, suglina, šljunkova, aluvijalnih suglina, barskih glina, peskova, recentnog mulja, eolskih peskova, peskovitog lesa i lesa. Ispod naslaga poslednjeg geološkog perioda leže sediment neogena ispod kojih se mogu naći predstavnici srednjeg i starog doba zemljinog razvoja. Na dubinama većim od 400 m, pronađene su najstarije geološke formacije. Grad Pančevo karakterišu tri geomorfološke celine, a to su niska aluvijalna ravan Dunava i Tamiša, južnobanatska lesna terasa i lesna zaravan. Teritorija grada predstavlja integralni deo Panonskog basena i karakteriše je topografska površina pretežno ravničarskog izgleda, blago nagnuta od severoistoka ka jugozapadu i u pravcu oticanja Tamiša i Dunava (Matić et al. 2012; Brzaković et al. 2013).

Teritoriju Pančeva karakteriše nekoliko tipova zemljišta, od kojih su najvažniji: karbonatni i peskoviti černozem (WRB: chernozem), livadska crnica (WRB: fluvisol, humic), ritska crnica (WRB: gleysol, humic) i aluvijalna zemljišta (WRB: fluvisol), (WRB 2006, Pavlović et al. 2017d). Najrasprostranjeniji tip je černozem koji zahvata oko 70 % teritorije opštine (Matić et al. 2012; Brzaković et al. 2013). Kao rezultat

antropogenog delovanja zemljište u Pančevu trpi velike uticaje i veoma brzo gubi svoje prirodne karakteristike i postaje urbano zemljište - urbisol koje je uglavnom nepovoljno za obradu (Brzaković et al. 2013).

Grad Pančevo pripada prostoru umereno kontinentalne klime koju karakterišu duga i topla leta i jeseni, blage zime i kratka proleća. Posebnu specifičnost klime predstavlja košava, jak i suv vetar koji najčešće duva u rano proleće i poznu jesen, dostiže brzinu do 100 km na čas i traje do tri nedelje. U hladnom periodu javljaju se zimski severac i severozapadni vetar koji donosi dugotrajne kiše, a leti iznenadne pljuskove. Pravac duvanja dominantnih vetrova nepovoljno utiče na zagađenje, jer direktno nanosi zagađujuće materije iz industrijske zone ka gradskom jezgru. Lokalni uslovi na ovom području određeni su blizinom velike vodene površine reke Dunav kao i mogućnošću slobodne horizontalne cirkulacije vazduha zbog ravničarskog terena. Prosečna srednja godišnja temperatura vazduha u Pančevu iznosi 11,3 °C. Najtopliji mesec je jul sa prosečnih 21,8 °C, zatim sledi avgust sa 21,5 °C i juni sa 20,2 °C. Najhladnije je u januaru sa prosečnih -0,4 °C, a to je i jedini mesec u godini kada je srednja mesečna temperatura negativna. Prosečne godišnje količine padavina u Pančevu iznose 622,5 mm. Godišnja raspodela padavina je takva da je maksimum u junu (84,6 mm), a minimum u februaru (35,0 mm), (Canić et al. 2010; Brzaković et al. 2013).

Područje grada Pančeva obiluje, kako površinskim tako i podzemnim vodama. Podzemne vode se mogu podeliti na plitke-freatske izdani koje se kontinualno protežu duž cele teritorije grada i njihov režim ima snažan uticaj na režim reke, i na duboke arteške izdani. U pogledu površinskih voda, grad karakterišu Dunav, Tamiš, Nadel i Ponjavica kao i veštački meliorativni kanali i veštačka jezera. Najvažniji vodotok predstavlja Dunav koji dužinom od 30 km protiče kroz teritoriju grada gde ima osobine tipične ravničarske reke. U Dunav se kod Pančeva uliva Tamiš, ravničarska reka koju karakteriše prisustvo velikog broja meandara. Korito reke Nadel predstavlja napušteno korito reke Tamiš koje se puni sakupljanjem površinskih i dreniranjem podzemnih voda (Matić et al. 2012; Brzaković et al. 2013).

Vegetaciju na teritoriji opštine Pančevo čine šume, barska vegetacija, livade, pašnjaci i poljoprivredne kulture. Od samoniklih zajednica su zastupljene šume, livade i ševari. Površine pod šumama su relativno male, neravnomerno raspoređene i u njima se mogu sresti kulture hibridne evroameričke topole (*Populus canadensis* Moench), bela

vrba (*Salix alba* L.), američki jasen (*Fraxinus pennsylvanica* Marshall), bela topola (*Populus alba* L.), crna topola (*Populus nigra* L.), hrast lužnjak (*Quercus robur* L.) i brest (*Ulmus* L.). Područje pod livadama i pašnjacima zauzima svega 4,9 % i uglavnom se tu sreću popovac (*Thymus serpyllum* L.), čičak (*Arctium lappa* L.), štir (*Amaranthus retroflexus* L.), zubač (*Cynodon dactylon* L.), maslačak (*Taraxacum officinale* Webb.) i hajdučka trava (*Achillea millefolium* L.). Na niskoj aluvijalnoj ravni, koja se plavi pri višem vodostaju Tamiša, raste barska vegetacija sa predstavnicima kao što su lokvanji (*Nymphaeales*), trska (*Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steudel), rogoz (*Typha* L.) i drugi (Matić et al. 2012; Brzaković et al. 2013).

2.2. Smederevo

Geografski položaj, reljef, pedološke, klimatske, hidrološke i biogeografske karakteristike Smedereva

Grad Smederevo se nalazi u severoistočnom delu centralne Srbije i od Beograda je udaljen 46 km. Severnu granicu grada predstavlja reka Dunav, dok se istočna granica pruža dolinom reke Velika Morava. Jugozapadnu granicu grada čine šumadijska pobrđa. Teritorija grada zahvata blago zatalasano nizijsko područje južnog oboda Panonskog basena, u krajnjem severoistočnom delu Šumadije i pripada Podunavlju i gornjem Pomoravlju. Zauzima površinu od 481,7 km² koja je pozicionirana na 44° 27' i 44° 42' severne geografske širine i 20° 45' i 21° 09' istočne geografske dužine, sa prosečnom nadmorskom visinom od 120,7 m. Prema rezultatima popisa iz 2011. godine u široj oblasti grada živi 108209 stanovnika, a u samom gradu 64105 stanovnika (Republički zavod za statistiku RS 2012; Vujović et al. 2013).

Osnovnu geološku građu terena Smedereva čine sedimenti ponta koji su prekriveni kvartarnim naslagama, kao i neogenim sedimentima. Sedimenti ponta pripadaju gornjem pontu i uglavnom su predstavljeni belim kvarcnim peskovima, peskovitim glinama sa interkalacijama glina i glinovitih peskova. U okviru kvartarnih tvorevina izdvojene su tvorevine pleistocena i holocena. Teritoriju grada Smedereva odlikuje blago zatalasani oblici reljefa, široke rečne doline blagih dolinskih strana i prostrane aluvijalne ravni. Izdvajaju se tri geomorfološke jedinice. Zapadni brdoviti deo čini prvu izdvojenu geomorfološku jedinicu, dok drugu geomorfološku jedinicu čini

terasna ravan koja se pruža jug-jugoistok i sever-severozapad. Treću geomorfološku jedinicu čini aluvijalna ravan Velike Morave u koju su usekle svoje korito Ralja i Jezava (Službeni list grada Smedereva 2011; Vujović et al. 2013).

Teritoriju Smedereva karakterišu tri tipa zemljišta: gajnjače (WRB: cambisol, eutric), smonice (WRB: vertisol) i ritska crnica (WRB: gleysol, humic), (WRB 2006; Pavlović et al. 2017d). Ova zemljišta odlikuju povoljne fizičko-hemijske karakteristike što ih čini pogodnim za poljoprivrednu proizvodnju. Aluvijalni tip zemljišta (WRB: fluvisol, WRB 2006; Pavlović et al. 2017d) karakterističan je za rečne doline i uslovio je visoko produktivno zemljište koje čini oko 25 % ukupne teritorije Smedereva (Vujović et al. 2013).

Grad Smederevo pripada prostoru umereno kontinentalne klime koju karakterišu topla leta i hladne, suve zime. Najčešće duvaju severozapadni i zapadni, a potom i jugoistočni vetar. Severozapadni vetrovi su najintenzivniji krajem proleća i početkom leta, a jugoistočni vetar ili košava duva maksimalnom jačinom i intezitetom u periodu od oktobra do aprila i u gradskom jezgru ima provetravajuću ulogu. Klimatske karakteristike grada uslovljene su geografskim položajem, konfiguracijom terena, blizinom velikih rečnih tokova i globalnim kretanjem vazdušnih masa. Prosečna godišnja temperatura vazduha u Smederevu iznosi 12,4 °C. Najtopliji mesec je jul sa prosečnom temperaturom od 25,4 °C. Februar je najhladniji mesec, sa srednjom temperaturom – 4,2 °C i to je i jedini mesec u godini kada je srednja mesečna temperatura negativna. Prosečne godišnje količine padavina u Smederevu iznose 640 mm. Godišnja raspodela padavina je takva da je najveći broj kišnih dana u maju (117,6 mm), a najmanji u avgustu (0,1 mm) (Vujović et al. 2013).

Teritorija Smedereva obiluje izuzetno bogatom hidrološkom mrežom. Najveći vodotoci na teritoriji grada su: Dunav, Velika Morava, Jezava, Ralja, Konjska reka, Petrijevski i Vučački potok. Dunav kroz Smederevo protiče u dužini od 20 km. Velika Morava ima veliki značaj za Smederevo i kroz njega protiče u dužini od 27 km. Jezava se prvobitno kod Smedereva ulivala u Dunav, ali je posle regulacije uvedena u Veliku Moravu. Ralja i Konjska reka predstavljaju leve pritoke Jezave i kroz grad protiču dužinom od 21 km, odnosno 25,5 km. Kroz centar grada svojim donjim tokom prolazi Petrijevski potok. Na teritoriji grada sreće se i nekoliko manjih vodnih akumulacija i to su akumulacija „Kolarište“, „Mihajlovac“ i „Vučak“ (Vujović et al. 2013).

U okviru područja grada Smedereva moguće je razlikovati dve prirodno-prostorne celine tj. prirodne ekosisteme sa jedne strane i urbane površine i poljoprivredne zone sa druge strane. Veći deo teritorije Smedereva zauzima klimatogena šumska zajednica hrastova, sladuna i cera (*Quercetum frainetto-cerris* Rudski 1949), dok se celim tokom reke Morave i reke Ralje proteže pojas listopadnih šuma vodoplavnog i nizijskog tipa (Službeni list grada Smedereva 2011; Vujović et al. 2013).

2.3. Obrenovac

Geografski položaj, reljef, pedološke, klimatske, hidrološke i biogeografske karakteristike Obrenovca

Opština Obrenovac je Beogradska opština koja se prostire središnjim delom donjokolubarskog basena i od centra Beograda je udaljena 28 km. Opština se na istoku i jugu graniči sa Šumadijom, dolinama reka Kolubara i Tamnava, na zapadu ograncima planine Cer, a na severu rekom Sava. Zauzima površinu od 409,96 km² koja se prostire između 44° 30' i 44° 43' severne geografske širine i 19° 58' i 20° 20' istočne geografske dužine, sa prosečnom nadmorskom visinom od 78 m. Prema rezultatima popisa iz 2011. godine na teritorije opštine živi 72524 stanovnika (Dragičević et al. 2008; Cvijanović et al. 2012; Republički zavod za statistiku RS 2012).

Na teritoriji opštine Obrenovac isključivo su zastupljene sedimentne stene kenozojske starosti. Teren se odlikuje jednostavnom tektonikom i njegovu osnovnu građu čine neogene i kvartarne tvorevine. Neogene tvorevine leže preko starijih paleozojskih i mezozojskih naslaga. Najveći deo opštine pripada niziji i nalazi na makroplavini reke Kolubare. Blago pobrđe javlja se samo u istočnom delu opštine, na desnoj dolinskoj strani Kolubare. U toj oblasti najmarkantniji tektonski oblici su Kolubarsko-peštanski rased i Posavski rased (Dragičević & Karić 2003; Đorđević & Panić 2006).

U centralnom delu opštine Obrenovac i duž reka Save, Kolubare, Tamnave i Peštana dominiraju hidromorfna zemljišta: aluvijum (WRB: fluvisol), livadska crnica (WRB: fluvisol, humic) i ritska crnica (WRB: gleysol, humic), Pavlović et al. (2017d). Na zapadu i jugozapadu dominira pseudoglej (WRB: stagnosol), a značajno učešće na

istoku i jugozapadu ima gajnjača (WRB: cambisol, eutric) i na istoku deluvijum (WRB: colluvic regosol), (WRB 2006; Cvijanović et al. 2012; Pavlović et al. 2017d).

Opština Obrenovac pripada zoni umereno kontinentalne klime čije su osnovne karakteristike nešto izmenjene usled uticaja termoelektrane i lokalnog efekta staklene bašte. Najčešće duva jugoistočni vetar-košava, dok je za leto karakteristično duvanje vetra iz pravca severozapada. Vetar je prisutan gotovo tokom cele godine i duva maksimalnim intenzitetom u martu, a minimalnim u avgustu. Generalno, pravac duvanja dominantnih vetrova je nepovoljan i oni direktno ugrožavaju gradsko jezgro nanošenjem čestica pepela sa deponije pepela Nikola Tesla - A i B. Klimatske karakteristike uslovljene su geografskim položajem i karakteristikama reljefa. Njegova otvorenost prema severu i severozapadu dovodi do prodiranja hladnih vazdušnih masa iz severne i srednje Evrope. Veoma bitnu ulogu za orijentaciju vazdušnih strujanja imaju cikloni koji dolaze iz Đenovskog zaliva i prate dolinu Save i Dunava. Prosečna godišnja temperatura vazduha u Obrenovcu iznosi 11 °C. Najtopliji mesec je jul sa prosečnom temperaturom od 21 °C, a najhladniji mesec je januar sa prosečnom temperaturom od -2,1 °C. Prosečna godišnja količina padavina iznosi 640 mm sa najvećim brojem kišnih dana tokom maja, juna i jula, a najmanjim tokom oktobra (Dragićević & Karić 2003; Đorđević & Panić 2006; Cvijanović et al. 2012).

Područje opštine Obrenovac karakterišu površinske i podzemne vode. Podzemne vode ovog područja mogu da se podele u dve grupe izdani: zbijeni tip izdani i uslovno bezvodni delovi terena u okviru aluvijalnih glina i laporovito-glinovitih pliocenskih naslaga. Teritorija opštine Obrenovac pripada slivovima dve velike reke Save i Kolubare. Sava teritorijom opštine protiče u dužini od 38,5 km i u nju se kod Obrenovca uliva Kolubara. Kolubara kroz Obrenovac protiče u dužini od 27,3 km i njeno korito u ovom delu odlikuje meandarski karakter. Kolubara je reka koja ima bujični tok i predstavlja opasnost zbog čestih izlivanja, posebno u prolećnom periodu. Treća reka koja odlikuje područje Obrenovca je Tamnava koja je danas znatno skraćena i uliva se u Kolubaru kod Velikog Polja. To je u stvari kanal preostao od starog toka ove reke i u njemu se prikupljaju atmosferske padavine i podzemne vode (Dragićević & Karić, 2003; Đorđević & Panić 2006; Cvijanović et al. 2012).

Na teritoriji opštine izdvaja se biom južnoevropskih listopadnih šuma vodoplavnog i nizijskog tipa, za koje su karakteristične zajednice lužnjaka i žutilovke

(*Genisto elatae* - *Quercetum roboris*), šume lužnjaka i graba (*Carpino* - *Quercetum crassiusculae* - *roboris*) i šume vrbe i topole (*Populeto* - *Salicetum*). Šume se prostiru duž rečnih tokova, njihov fond je mali i nije se značajnije menjao poslednjih godina (Đorđević & Panić 2006; Cvijanović et al. 2012).

2.4. Beograd

Geografski položaj, reljef, pedološke, klimatske, hidrološke i biogeografske karakteristike Beograda

Beograd je glavni i ujedno najveći grad Republike Srbije. Nalazi se u centralnom delu Srbije na dodiru dve u fizičko-geografskom smislu različite celine, Panonske ravnice i zaleđa (predgorja) Balkanskog poluostrva. Administrativna teritorija grada zauzima površinu od 3222,68 km², dok uže gradsko područje zauzima 1317,12 km². Grad je pozicioniran na 44° 48' severne geografske širine i 20° 28' istočne geografske dužine, a prosečna nadmorska visina iznosi 132 m. Prema rezultatima popisa iz 2011. godine na teritoriji grada živi 1659440 stanovnika. Beograd zauzima preko 3.6 % teritorije Republike Srbije, a u njemu živi 21 % ukupnog dela građana Srbije (Jovanović 1994; Republički zavod za statistiku RS 2012; Sekretarijat za zaštitu životne sredine 2013a).

Teritoriju Beograda najvećim delom izgrađuju nataložene kvartarne tvorevine. Iako njihova količina nije izrazita u odnosu na druge geološke formacije, postojeći geomorfološki uslovi su doveli do značajne pokrivenosti terena uz ograničeno rasprostranjenje po dubini (~20 m). Na taj način su zamaskirane starije formacije prvog i drugog sprata (Sekretarijat za zaštitu životne sredine 2013b). Na teritoriji grada prema geološko-geomorfološkim karakteristikama izdvajaju se sledeće geoprostorne celine: aluvijalna zaravan Pančevačkog rita, lesna i lesoidna zaravan južnog Srema, aluvijalna zaravan južnog Srema, aluvijalna zaravan Makiša i Ade Ciganlije, aluvijalna zaravan Posavo - Tamnave i donjeg toka Kolubare, aluvijalna zaravan u dolini srednjeg toka Kolubare i donjeg toka Tamnave, pobrđe i zaravni u neposrednom slivu Dunava, pobrđe u neposrednom slivu Save, neogeno pobrđe i brdsko područje sa zaravnima u slivu Kolubare, neogeno pobrđe i zaravan u slivu reke Ralje, neogeno pobrđe i zaravan u slivu reke Lug, brdsko i brdsko-planinsko područje severne Šumadije, brdsko -

planinsko područje Kosmaja i brdsko-planinsko područje u slivu Peštana i Onjega (Sekretarijat za zaštitu životne sredine 2013a).

Na teritoriji Beograda je tokom vremena i usled urbanizacije došlo do formiranja nekoliko različitih tipova zemljišta kao što su: urbano građevinsko, suburbano građevinsko, industrijsko, komunalno, poljoprivredno, šumsko, vodno i degradirano zemljište (Sekretarijat za zaštitu životne sredine 2013b). Od istoka ka zapadu smenjuju se ili prepliću černozem, degradirani černozem i gajnjača. Najniže položaje zauzimaju glej, semi glej (WRB: fluvisol, humic) i aluvijalna zemljišta (WRB: fluvisol), iznad njih su smonice (WRB: vertisol) i gajnjače (WRB: cambisol, eutric) i najzad skeletna zemljišta (WRB 2006; Pavlović et al. 2017d).

Područje grada Beograda se nalazi u oblasti umereno-kontinentalne klime koja često zbog samog položaja grada ima odlike kontinentalne i planinske klime. Karakteristika Beogradske klime je košava, jugoistočni i istočni vetar koji najčešće duva u jesen i zimu. Prosečna godišnja temperatura vazduha u Beogradu iznosi 11,7 °C, a najtopliji mesec je jul sa prosečnom temperaturom od 22,1 °C, a najhladniji januar sa prosečnom temperaturom od 0,1 °C. Beograd u odnosu na okolinu karakteriše porast, pre svega, minimalnih temperatura, što predstavlja posledicu visokog nivoa urbanizacije i antropogenog zagađenja. U periodu od 1961. do 1990. godine, srednja godišnja temperatura u Beogradu je bila viša za 0,4-1,0 °C u odnosu na prosečnu temperaturu gradova u okruženju. Prosečna godišnja količina padavina iznosi 669.5 mm sa najvećim količinom padavina tokom maja i juna i najmanjim tokom februara i oktobra (Sekretarijat za zaštitu životne sredine 2013a, 2013b).

Područje Beograda odlikuju složene hidrološke karakteristike. Površinske vode javljaju se u vidu velikih i malih vodotoka, ali i nekoliko jezera i akumulacija. Najveće reke koje protiču kroz Beograd su Dunav i Sava. Dunav kroz Beograd protiče u dužini od 50 km i ima odlike ravničarske reke. Sava na teritoriju grada ulazi uzvodno od Obrenovca i kroz nju protiče u dužini od 30 km, a u Dunav se uliva ispod Kalemegdana. Pored Dunava i Save, teritorijom grada teku brojni manji tokovi, među kojima se ističu Topčiderska reka, Železnička reka, Barička reka, Veliki lug, Ralja, Bolečica, Gročanska reka, Lukavica, Peštan, Turija, Beljanica, Mirijevski potok, Manastirski potok kao i kanali Galovica, Sibnica, Kalovita i Vizelj. Na teritoriji Beograda se nalaze i veštački stvorena jezera: Savsko jezero na Adi Ciganliji, Podavalske akumulacije (Pariguz, Bela

reka i Duboki potok), Markovačko i Rabrovačko jezero kod Mladenovca, jezero Veliko Blato na opštini Palilula i jezero Duboki potok u Barajevu. Podzemne vode takođe odlikuju teritoriju Beograda i nalaze se u različitim tipovima izdani (Sekretarijat za zaštitu životne sredine 2013b).

Teritorija Beograda pre intenzivne urbanizacije odlikovala se različitom vegetacijom, koja je danas značajno redukovana i njeni ostaci se mogu sresti u ne izgrađenim i višim delovima grada (Košutnjak, Avala). Teritoriju su odlikovale šume sladuna i cera (*Quercetum frainetto-cerris* Rudski 1949), zatim je tu po zastupljenosti i prostranstvu bila šuma hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.) koja se prostirala u dolini Topčiderske reke, u Zemunu i aluvijumima nekih potoka, a uz rečne tokove i ade nalazile su se šume vrbe i topole (*Populeto-Salicetum*). Danas na području Beograda mogu da se razlikuju urbani, suburban i kultivisani predeli intenzivne i ekstenzivne obrade poljoprivrednih površina, a oko 12 % celokupne teritorije Beograda je prekriveno šumom i šumskom vegetacijom, pri čemu je šumovitost po opštinama različita. U šumama dominiraju lišćari, dok četinari učestvuju sa svega nekoliko procenata. Od vrsta su najzastupljeniji jasen (*Fraxinus* Tourn. ex L.), cer (*Quercus cerris* L.), bukva (*Fagus sylvatica* L.), javor (*Acer pseudoplatanus* L.) i bagrem (*Robinia pseudoacacia* L.). Najveće šume u užem gradskom pojasu su Zvezdarska, Košutnjak i Banjička šuma (Mitrović 1998; Sekretarijat za zaštitu životne sredine 2013b).

III OPŠTE KARAKTERISTIKE ISPITIVANIH VRSTA BILJAKA

3.1. Mleč, platanolisni javor (*Acer platanoides* L.)

Vrsta *Acer platanoides* L. pripada porodici *Aceraceae* koja broji oko 115 vrsta. Odlikuje se vitkim pravim okruglim stablom i dosta gustom, izduženo jajastom krošnjom. Raste do 30 m visine. Po visini, prečniku stabla i starosti koju može da dostigne ova vrsta zaostaje za javorom (*Acer pseudoplatanus* L.). Koren je srcast, a žile ne idu duboko već se pružaju bočno. Kora je na mladim grančicama crvenkasto - siva, glatka, a kasnije tamni. Na starijim individuama je tamnocrnkasta sa mnogobrojnim, relativno sitnim i plitkim ljuspama. Puca po dužini, ali se ljuspe plute ne ljušte. Pupoljci su naspramni i jasno se razlikuje terminalni pupoljak, koji je krupniji, sa više ljuspi od sitnijih bočnih. List je sa dugom peteljkom, sa 5 - 7 režnjeva, koji su oštro, krupno i retko nazubljeni. Između zubaca, kao i režnjeva, urezi su obli. Pri osnovi list je većinom srcast, s obe strane sjajno zelen, bez dlaka, ili je dole, duž nerava, prekriven dlakama. Dug je 5 - 16 cm i širok 8 - 25 cm, sa 4 - 21 cm dugom peteljkom, mahom crvene boje. Cveti pre listanja, u aprilu ili maju. Cvetovi su zelenkastožute boje, u gronjama. Oprašivanje se obavlja pomoću insekata. Plod je u skupini po 2, svaki sa po jednim krilom i sazreva u avgustu i septembru. Fizičku zrelost mleč dostiže 5 - 10 godina pre javora. Donosi plod gotovo svake godine i oni opadaju u jesen (Jovanović 1985), Slika 1.



Slika 1. Mleč, platanolisni javor (*Acer platanoides* L.).

Zbog impozantne visine, guste krošnje, valjkastog stabla i listova sa lepom letnjom zelenom bojom koja u jesen postaje zlatnožuta cenjena je dekorativna vrsta i omiljeno je drvo za aleje, parkove i drvorede naročito u severnoj Evropi. Listove ne jedu gusenice i retko ga napadaju patogeni, te je tim njegova upotrebljivost šira. Posebno je cenjena medonosna vrsta. Pretežno naseljava široke rečne doline i niža brdska područja. U odnosu na javor, podnosi siromašnije i vlažnije zemljište i manje je osetljiv na temperaturna kolebanja (Jovanović 1985; Vukičević 1996). Često je istraživani potencijal ove vrste za korišćenje u biomonitoringu zagađenja urbane sredine (Mitrović et al. 2006; Piczak et al. 2003; Tomašević et al. 2011; Petrova et al. 2014; Kosiorek et al. 2016; Deljanin 2016).

3.2. Javor (*Acer pseudoplatanus* L.)

Vrsta *Acer pseudoplatanus* L. pripada familiji *Aceraceae*. Odlikuje ga niska, razgranata i veoma razvijena krošnja. U mladosti dosta brzo raste i obično dostiže visinu oko 30 m i prečnik stabla oko 2.5 m. Srčanicu razvija samo u mladosti, a kasnije duboke, bogato razgranate bočne žile i tako formira srcast korenov sistem. Kora je jako promenjiva, u mladosti siva i glatka, a kod starijih individua najčešće siva do sivosmeđa, ispucala u široke, nepravilne, tanke ljuspe koje postepeno otpadaju. Grančica je u početku dlakava, kasnije gola. Pupoljci su na izdancima unakrsno naspramno raspoređeni, okruglasto jajasti sa zaštitnim ljuspama, koje su pri vrhu i obodu crnosmeđe boje. List je relativno velik i režnjeviti (5 režnjeva), sa srcolikom osnovom i dugačkom peteljkom. Listovi su do 15 cm dugački i do 20 cm široki, u mladosti odozdo gusto dlakavi, kasnije dlakavi samo duž nerava. Režnjevi su zašiljeni i krupno nazubljeni, a uglovi između režnjeva i zubaca su oštri. Lice lista je tamnozeleno a naličje sivozelene boje. Cveti u aprilu i maju, nakon potpunog olistavanja. U nižim predelima, cveta skoro svake godine, a u višim svake 2 do 3 godine. Oprašivanje se vrši pomoću insekata. Plod čine dve krilate orašice sa semenom veličine zrna graška. Seme sazreva u septembru i veći deo opadne i raseje se iste godine (Jovanović 1985), Slika 2.



Slika 2. Javor (*Acer pseudoplatanus* L.).

Zbog visine, lepe građe stabla, ovalne krošnje i lepe boje lista, koja dugo u jesen ostaje zelena javor predstavlja veoma cenjenu vrstu pogodnu za individualnu sadnju ili sadnju u grupama na zelenim površinama ili u drvoredima (Vukičević 1996). To je vrsta široko rasprostranjena u zapadnoj, srednjoj i južnoj Evropi, izuzev krajnjeg jugozapada i jugoistoka. Najčešće se sreće u brdskim područjima u zoni bukovih šuma, mešovitim listopadnih i četinarskih šuma (bukva, jela). Ova vrsta traži vlažna mesta sa svežim, dubokim i plodnim humoznim zemljištem sa dobrom aeracijom (Jovanović 1985). Ova vrsta se koristi kao potencijalni fitostabilizator zemljišta i biomonitor zagađenja vazduha teškim metalima (André et al. 2006; Simon et al. 2011).

3.3. Breza (*Betula pendula* Roth.)

Vrsta *Betula pendula* Roth. (Syn.: *B. alba* L. p. p., *B. verucosa* Ehrh.) pripada porodici *Betulaceae*. Odlikuje se vitkim stablom koje se pruža gotovo do vrha retke krošnje i tankim granama, koje su u početku manje - više uspravne, a kasnije dobijaju brojne viseće vrlo tanke dugoraste. Odrasle individue dostižu visinu do 30 m i prečnik od 40 - 60 cm. Koren je u prvoj mladosti razgranata srčanica koja vremenom prelazi, u zavisnosti od lokaliteta, u površinski ili srcasti, intenzivno razgranati, korenov sistem. Listovi su sitni, rombično jajasti do trougaoni, dugačko zašiljeni, pri osnovi obično klinasti, po obodu oštro dvostruko testerasti; dugi 3 - 7 cm, na peteljci od 2 - 3 cm.

Listovi su na mlađim jedinkama dlakavi, a na starijim potpuno goli i dosta tanki. Kora je na mladom stablu sjajno - bela, sa peridermom koji se ljušti horizontalno u tankim listovima. Starije individue imaju ispucalu crnkastu mrtvu koru ili lub (ritidom), koja se pruža do krošnje. Biljka dostiže zrelost u sklopu u 20 - 30. godini, a van sklopa u 10 - 15. godini. Prostrani areal breze ukazuje na njenu široku ekološku amplitudu. Ona je među evropskim vrstama jedna od najtolerantnijih na niske temperaturame. Međutim, ona ne raste na onim kontinentalnim krajevima Evrope sa jačim i dužim letnjim sušama i malom relativnom vlažnošću. U pogledu zemljišta, breza raste na siromašnim, opodzoljenim, vlažnim i kiselim, ali i na veoma suvim zemljištima. Breza ima veliku potrebu za svetlošću zbog čega je razvila retku krošnju, a u starosti su joj sastojine znatno proređene (Jovanović 1985), Slika 3.



Slika 3. Breza (*Betula pendula* Roth.).

Breze su neizostavni element gotovo svake zelene površine, zimi zbog bele kore i povijenih grančica, u proleće, pre listanja, zbog razvijenih visećih muških cvasti, a u toku vegetacije zbog lepih oblika listova i prijatnog izgleda čitavog stabla. Pogodna je za pojedinačnu i sadnju u grupama, kao i u kombinaciji sa drugim vrstama, naročito četinarskim (Vukičević 1996). Često se koristi u analizi i praćenju efekata zagađenja u industrijskim i urbanim sredinama (Kozlov et al. 1995; Reimann et al. 2007; Petrova et al. 2014; Kosiorek et al. 2016; Deljanin 2016).

IV MATERIJAL I METODE

4.1. Opis mesta uzorkovanja na odabranim lokalitetima

Terenska istraživanja (merenja *in situ* i *in vivo* parametara efikasnosti fotosinteze) i sakupljanje uzoraka zemljišta i biljnog materijala (kora i list) ispitivanih vrsta (*Acer platanoides* L., *Acer pseudoplatanus* L. i *Betula pendula* Roth.), obavljeno je u urbanim parkovima izloženim različitim izvorima zagađenja u Pančevu, Smederevu, Obrenovcu i Beogradu i na kontrolnim lokalitetima Topčiderski park u Beogradu i Arboretumu Šumarskog fakulteta Univerziteta u Beogradu, tokom 2012. godine (Slika 4).

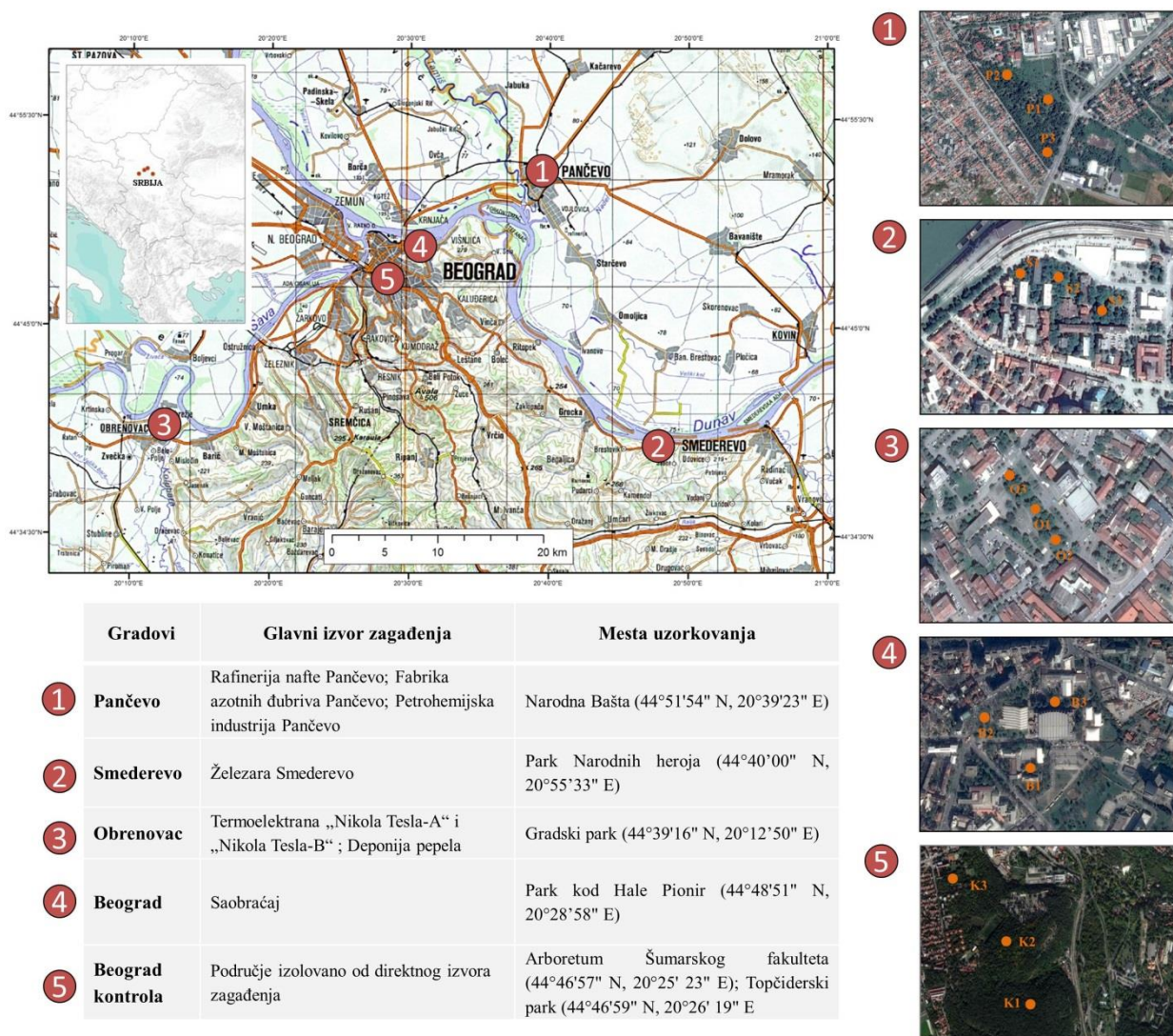
U Pančevu, istraživanje je obavljeno u parku Narodna bašta, najvećem i najstarijem gradskom parku u Pančevu, osnovanom 1823. godine. Ovaj park, nalazi se na koordinatama 44° 51' 54" severne geografske širine i 20° 39' 23" istočne geografske dužine, na nadmorskoj visini od 77 m. Zauzima površinu od oko 14 ha koju krase uređene zelene površine i veliki broj drvenastih vrsta (lipa, topola, orah, breza, kesten, javor, mleč, platan, crni bor i dr.). Od centra grada je udaljen 1,3 km. Od glavnih izvora zagađivanja je pozicioniran severozapadno, a udaljenost od fabrike azotnih đubriva (HIP-Azotara d.o.o.), petrohemijske industrije (HIP-Petrohemije) i Rafinerije nafte Pančevo (NIS-RNP) je manja od 5 km.

U Smederevu, istraživanje je obavljeno u parkovima koji se nalaze u centralnom gradskom jezgri koje je pozicionirano na 44° 39' 00" severne geografske širine i 20° 55' 33" istočne geografske dužine, na nadmorskoj visini od 73 m. Centralno gradsko jezgro odlikuje nekoliko manjih zelenih celina u kojima dominiraju zasađene različite vrste drveća i žbunova. Dominantni izvor zagađivanja je industrijska zona locirana 7 km jugoistočno od grada, železara „Hesteel Serbia Iron & Steel d.o.o. Beograd“.

U Obrenovcu, istraživanja su obavljena u parku - Gradski trg koji je oivičen ulicama Vojvode Mišića, Karađorđevom i Vuka Karadžića i zgradom SO Obrenovac. Pozicioniran je na 44° 39' 16" severne geografske širine i 20° 12' 50" istočne geografske dužine, na nadmorskoj visini od 78 m. Zbog svog položaja predstavlja jednu od najznačajnijih zelenih površina Obrenovca. Izgrađen je 2004 - 2005. godine, a na tom prostoru raste oko 100 individua različitih vrsta drveća (22 vrste) i 50 žbunova. Dominantni izvor zagađenja, predstavljaju dve termoelektrane „Nikola Tesla - A“ i

„Nikola Tesla - B“ i dve deponije pepela i šljake nastalih sagorevanjem uglja, ukupne površine oko 1000 ha. Gradski trg je od termoelektrane „Nikola Tesla - A“ udaljen oko 4 km, a od termoelektrane „Nikola Tesla - B“ oko 15 km.

U Beogradu istraživanje je izvršeno na tri lokacije, jednoj koja je izložena izvorima zagađenja poreklom iz saobraćaja (Park kod hale Pionir) i druge dve koje su izolovane od direktnog izvora zagađenja (Topčiderski park i Arboretum Šumarskog fakulteta Univerziteta u Beogradu). Zelene površine oko hale Pionir zauzimaju površinu oko 50000 m². Park je pozicioniran na 44° 48' 51" severne geografske širine i 20° 28' 58" istočne geografske dužine, na nadmorskoj visini od 104 m. Od centra grada, park je udaljen oko 2 km. Nalazi se u neposrednoj blizini nekoliko velikih saobraćajnica, u zoni nekadašnje industrijske zone u kojoj su poslednjih decenija prestale sve industrijske aktivnosti, a od najbliže industrijske zone u opštini Palilula udaljen je oko 1 km. Saobraćaj i blizina industrijske zone predstavljaju najvažnije izvore zagađenja. Zelene površine parka su značajno fragmentirane velikim brojem betonskih površina. Topčiderski park se nalazi na 5 km od centra Beograda, na 44° 46' 59" severne geografske širine i 20° 26' 19" istočne geografske dužine, na nadmorskoj visini od 80 m. Formiran je u zoni nekadašnje autohtone šume hrasta sladuna i cera (*Quercetum farinetto cerris* Rud.) i zauzima površinu od oko 35 ha. Smatra se za jedan od najvažnijih primera kulturno -istorijskog nasleđa zemlje, sa izuzetnom vrednošću zelenih površina u dolini reke Topčider. Prostor je utvrđen za kategoriju značajnog prirodnog dobra sa uspostavljanjem režima zaštite trećeg stepena (Mitrović 1998). Slično, Arboretum Šumarskog fakulteta Univerziteta u Beogradu predstavlja zelenu površinu sa specifičnom namenom i izuzetnu botaničku i pejzažno-arhitektonsku vrednost. Arboretum, formiran je na severozapadnoj padini Košutnjaka, iznad leve obale Topčiderske reke na 44° 40' 00" istočne geografske dužine i 20° 25' 23" severne geografske širine i nadmorskoj visini od 110 - 125 m. Arboretum zauzima površinu oko 3 ha.



Slika 4. Prikaz istraživanih lokaliteta i mesta uzorkovanja.

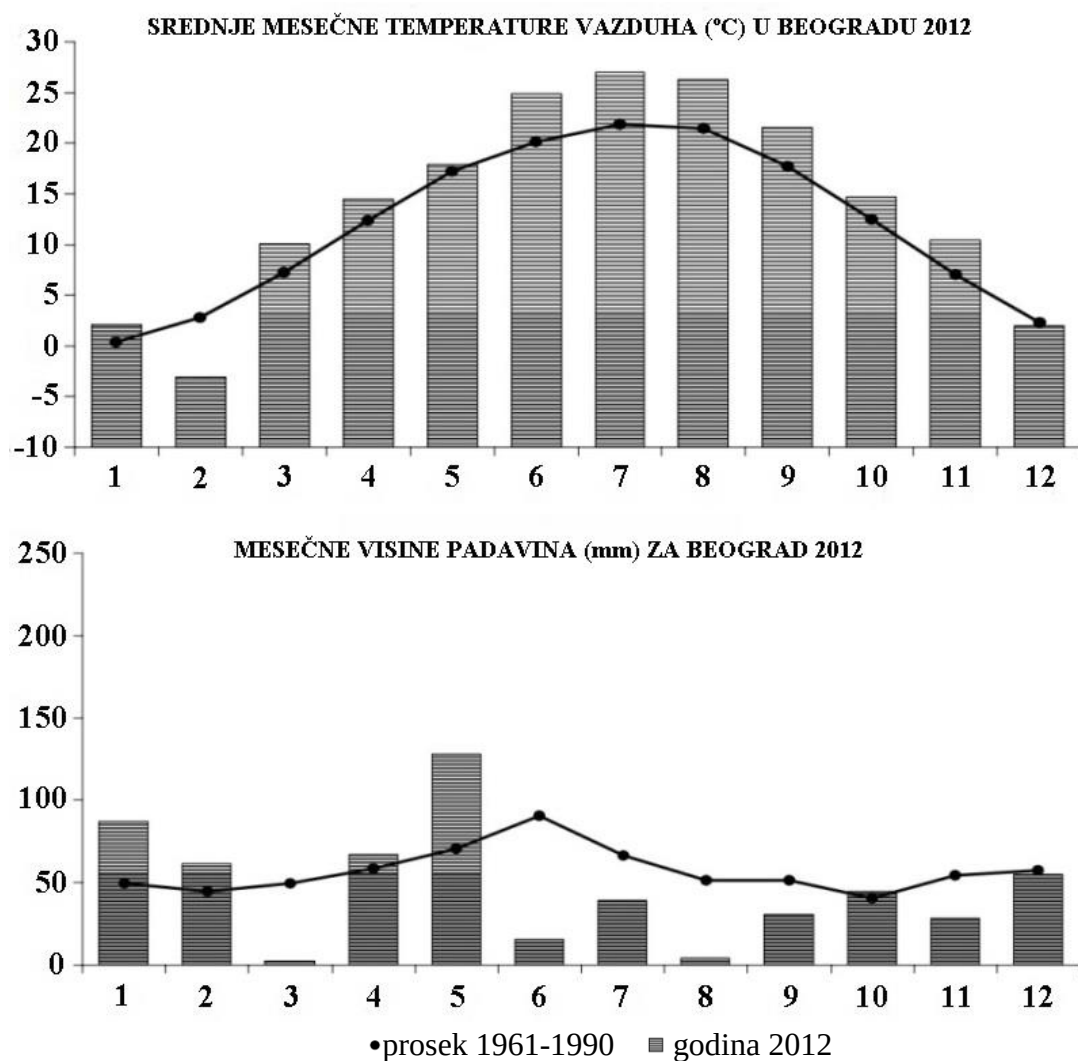
4.2. Klimatski podaci za ispitivane lokalitete tokom 2012. godine

Klimatski podaci, odnosno prosečne mesečne temperature vazduha i količina padavina za ispitivane lokalitete preuzeti su od Republičkog Hidrometeorološkog zavoda Republike Srbije (RHMZ 2013a; RHMZ 2013b). Srednje mesečne temperature vazduha i visne padavina u Beogradu u 2012. godini prikazane su na Slici 5.

Tokom januara temperature su na ispitivanim lokalitetima bile u granicama normale i kretale su se u rasponu od 1 - 2 °C, dok je srednja mesečna temperatura u Beogradu iznosila 2,1 °C. Prosečna mesečna količina padavina na ispitivanim

lokalitetima se kretala od 75 mm do 100 mm, što se svrstava u kategoriju kišno do ekstremno kišno. Februar je bio najhladniji mesec od kada se vrše merenja pa do danas. Srednje mesečne temperature na ispitivanim lokalitetima imale su vrednosti od - 2 °C do - 4 °C, a u Beogradu - 3 °C. Padavine su na većini lokaliteta bile evidentirane gotovo svakodnevno i svrstavaju se u kategoriju kišno do veoma kišno sa mesečnim prosekom od 50 mm do 75 mm. Mart 2012. godine bio je izuzetno sušan sa temperaturama u granicama normale. Prosečna mesečna temperatura u Beogradu iznosila je 10,1 °C, dok su mesečne sume padavina bile u rasponu od 0 mm do 25 mm. April mesec su karakterisale prosečne mesečne temperature u rasponu od 12 °C do 15 °C na području ispitivanih lokaliteta, a u Beogradu prosečna mesečna temperatura iznosila je 14,5 °C. Padavina je bilo tokom celog meseca i mesečne količine padavina na ispitivanim lokalitetima su se kretale u rasponu od 50 mm do 75 mm. Prosečne temperature u maju su bile u granicama normale. Prosečna mesečna temperatura za Beograd iznosila je 14,5 °C. Padavina različitog inteziteta je bilo tokom celog meseca. U Beogradu je u maju bilo nešto više padavina nego na ostalim lokalitetima i iznosile su 127,9 mm. Na svim ispitivanim lokalitetima prosečne mesečne temperatute u junu bile su ekstremno više od normalnih (> 22 °C), a u Beogradu prosečna temperatura u junu iznosila je 24,6 °C. Padavine su bile povremene, tokom prve polovine meseca nešto češće nego u drugoj polovini i za Pančevo, Obrenovac i Beograd su bile u rasponu od 0 mm do 25 mm, a u Smederevu od 25 mm do 55 mm. Jul 2012. godine je u većini mesta u Srbiji bio jedan od najtoplijih meseci od kada postoje merenja. Srednja mesečna temperatura vazduha na ispitivanim lokalitetima je bila veća od 22 °C, dok je prosek za Beograd iznosio 26,9 °C. Mesečna suma padavina je na ispitivanim lokalitetima bila oko i ispod granica prosečnih vrednosti. Avgust je bio ekstremno topao i sušan mesec sa prosečnim temperaturama za ispitivano područje većim od 24 °C i prosekom u Beogradu od 26.2 °C. Padavine su se retko javljale usled čega se ovaj period svrstava u ekstremno sušne periode sa količinom padavina manjom od 2 mm. Septembar je takođe bio ekstremno topao sa prosečnom temperaturom na ispitivanim lokalitetima u rasponu od 20 °C do 22 °C i srednjom mesečnom temperaturom vazduha u Beogradu od 21,5 °C. Padavine su bile intenzivnije nego u avgustu, ali i dalje slabe sa sumom od 0 mm do 25 mm na svim ispitivanim lokalitetima izuzev Pančeva, gde su padavine bile nešto intenzivnije. Oktobar je bio veoma topao sa prosečnim temperaturama od 12 °C do 16 °C na

ispitivanim lokalitetima i 16,6 °C u Beogradu. Padavine su bile skoro svakodnevne i u granici normale. Novembar je bio topao i veoma sušan, sa prosečnom temperaturom od 10,5 °C u Beogradu, dok je na ostalim lokalitetima temperatra bila u rasponu od 9 °C do 11 °C. Količina padavina je na ispitivanim lokalitetima uglavnom bila do 50 mm. Na svim ispitivanim lokalitetima temperature su tokom decembra bile u granicama normale sa prosečnom temperaturom vazduha od 2 °C u Beogradu i količinom padavina od 27 mm do 75 mm.



Slika 5. Grafički prikaz srednjih mesečnih temperatura vazduha i visne padavina u Beogradu 2012. godine (RHMZ 2013a).

4.3. Stanje vazduha na ispitivanim lokalitetima tokom 2012. godine

Podaci koji opisuju koncentracije zagađujućih materija u Pančevu, Smederevu, Obrenovcu i Beogradu tokom 2012. godine dati su u Tabeli 1. Granične vrednosti zagađujućih materija u vazduhu (SO_2 , NO_2 , CO, PM_{10} i Pb) definisane su uredbom o uslovima za monitoring i zahtevima kvaliteta vazduha (SG RS 2010/2013), dok za Cd, Ni i As nisu definisane granične vrednosti već samo ciljne vrednosti.

U 2012. godini, na osnovu podataka dobijenih od Agencije za zaštitu životne sredine Republike Srbije, koji objedinjuju podatke iz mreže lokalnih stanica za monitoring kvaliteta vazduha Beograda, Pančeva, Obrenovca i Smedereva ni jednom nije prekoračena granična vrednost za SO_2 ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, SG RS 2010/2013). Najveće mesečne koncentracije SO_2 bile su izmerene u Smederevu tokom februara ($49,50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) i decembra ($43,74 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Koncentracija NO_2 je tokom 2012. godine, bila u opsegu od $10,41 \mu\text{g}/\text{m}^3$ tokom jula u Pančevu do $42,56 \mu\text{g}/\text{m}^3$ tokom oktobra u Beogradu kada su jedino bile premašene granične vrednosti ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$, SG RS 2010/2013). Zbog poteškoća sa kojima se suočavala agencija tokom 2012. godine, podaci o sadržaju CO na pojedinim mernim stanicama nisu kompletni. Ambijentalne koncentracije CO tokom 2012. godine su se kretale od $0,10 \text{ mg}/\text{m}^3$ tokom septembra u Smederevu do $0,85 \text{ mg}/\text{m}^3$ tokom decembra u Obrenovcu i bile su na svim mernim mestima niže od propisanih graničnih vrednosti ($3 \text{ mg}/\text{m}^3$, SG RS 2010/2013). Sadržaj suspendovanih čestica (PM_{10}) u vazduhu tokom 2012. godine kretao se od $15,66 \mu\text{g}/\text{m}^3$ tokom maja i juna u Obrenovcu pa sve do $104,60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ tokom novembra u Smederevu. Povećano prisustvo ($> 25 \mu\text{g}/\text{m}^3$, SG RS 2010/2013) PM_{10} zabeleženo je u različitom periodu gotovo na svim lokalitetima. Međutim kao i u slučaju CO, podaci o sadržaju PM_{10} nisu kompletni. U 2012. godini, nije prekoračena granična vrednost za Pb ($0,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, SG RS 2010/2013), kao ni ciljna vrednost za Cd i Ni ($5 \text{ ng}/\text{m}^3$; $20 \text{ ng}/\text{m}^3$, SG RS 2010/2013). Prosečne mesečne koncentracije As su bile u rasponu od $1,15 \text{ ng}/\text{m}^3$ tokom jula u Smederevu do $16,76 \text{ ng}/\text{m}^3$ tokom decembra u Obrenovcu. Na svim lokalitetima u određenom trenutku tokom godine bile su zabeležene koncentracije As više od propisanih ciljnih vrednosti ($6 \text{ ng}/\text{m}^3$, SG RS 2010/2013).

Tabela 1. Prosečne mesečne koncentracije zagađujućih materija u vazduhu na teritoriji Pančeva (P), Smedereva (S), Obrenovca (O) i Beograda (B)

SO₂ (µg/m³)	P	S	O	B	NO₂ (µg/m³)	P	S	O	B
Januar	15,86	30,89	13,92	16,75	Januar	17,28	17,20	22,72	31,76
Februar	19,31	49,50	23,34	25,25	Februar	25,22	23,17	27,96	34,21
Mart	15,21	28,55	19,47	14,61	Mart	21,07	21,26	31,29	39,07
April	17,37	12,53	10,23	11,18	April	15,95	13,05	23,17	33,79
Maj	16,29	9,30	13,35	7,61	Maj	11,70	13,15	25,42	30,70
Jun	24,27	11,43	16,14	8,18	Jun	10,62	10,60	19,57	28,75
Jul	11,73	13,49	26,00	9,41	Jul	10,41	11,93	22,73	20,00
Avgust	15,84	11,98	24,49	11,48	Avgust	18,54	16,30	30,03	34,71
Septembar	14,31	12,05	23,92	22,60	Septembar	19,12	14,08	28,95	37,51
Oktobar	18,80	16,03	26,92	23,69	Oktobar	24,71	18,83	29,26	42,56
Novembar	28,92	23,34	21,25	22,08	Novembar	22,91	15,24	22,90	36,45
Decembar	28,95	43,74	26,58	34,66	Decembar	24,51	20,04	25,37	41,11
CO (mg/m³)	P	S	O	B	PM₁₀ (µg/m³)	P	S	O	B
Januar	0,63	0,47	0,46	0,48	Januar	42,3	/	39,14	29,37
Februar	0,57	0,57	0,45	0,57	Februar	51,5	/	51,60	47,90
Mart	/	0,56	0,44	0,40	Mart	53,2	/	45,40	27,21
April	/	0,39	0,38	0,21	April	30,5	/	22,07	23,85
Maj	/	0,28	0,40	0,15	Maj	25,9	/	15,66	22,72
Jun	/	0,24	0,21	0,17	Jun	31,9	/	15,66	20,48
Jul	0,12	0,19	0,44	0,21	Jul	35,6	29,83	16,90	23,95
Avgust	0,18	0,17	0,39	/	Avgust	36,8	31,55	25,30	25,72
Septembar	0,37	0,10	0,47	/	Septembar	35,5	38,13	18,57	/
Oktobar	0,49	0,20	0,62	/	Oktobar	35,8	59,23	21,73	/
Novembar	0,57	0,34	0,59	/	Novembar	/	104,60	37,23	31,34
Decembar	0,81	0,60	0,85	0,80	Decembar	/	80,38	37,60	/
As (ng/m³)	P*	S	O	B	Cd (ng/m³)	P*	S	O	B
Januar	5,13	/	8,05	8,45	Januar	0,001	/	0,17	2,25
Februar		/	10,13	5,70	Februar		/	0,34	2,27
Mart		/	5,87	6,22	Mart		/	0,15	2,02
April		/	3,49	4,99	April		/	0,70	2,46
Maj		/	2,94	2,34	Maj		/	0,13	1,60
Jun		/	2,94	3,55	Jun		/	0,13	2,49
Jul		1,15	2,24	/	Jul		0,35	0,12	2,53
Avgust		1,30	3,64	/	Avgust		0,38	0,11	0,96
Septembar		3,23	2,91	/	Septembar		0,43	0,10	1,42
Oktobar		5,18	4,24	/	Oktobar		0,57	0,34	1,03
Novembar		13,47	5,13	/	Novembar		1,13	0,17	1,27
Decembar		11,65	16,76	/	Decembar		0,63	0,31	0,97
Pb (ng/m³)	P*	S	O	B	Ni (ng/m³)	P*	S	O	B
Januar	6,00	/	9,80	28,14	Januar	1,05	/	3,85	9,01
Februar		/	14,68	24,56	Februar		/	4,63	4,39
Mart		/	8,40	17,50	Mart		/	6,74	4,44
April		/	5,97	10,07	April		/	4,34	2,70
Maj		/	11,91	10,29	Maj		/	3,90	2,40
Jun		/	11,91	14,70	Jun		/	3,90	3,62
Jul		13,48	8,45	11,57	Jul		3,35	3,26	8,79
Avgust		8,90	6,31	8,45	Avgust		3,65	5,56	1,51
Septembar		12,03	8,59	14,10	Septembar		3,13	2,63	2,45
Oktobar		22,15	13,45	11,34	Oktobar		4,55	2,50	2,87
Novembar		36,93	11,35	22,80	Novembar		20,93	2,45	2,97
Decembar		17,60	16,40	13,04	Decembar		32,95	5,20	3,81

Izvor: Agencije za zaštitu životne sredine Republike Srbije

*U Pančevu nije vršena mesečna analiza teških metala iz ukupno suspendovanih čestica u vazduhu (TSP), određeni su naknadnom analizom 39 uzoraka TSP u toku 2012.godine. U skladu sa tim rezultati su prikazani kao prosečne godišnje vrednosti za 2012. godinu.

4.4. Uzorkovanje zemljišta i biljnog materijala

Na ispitivanim lokalitetima, sakupljeni su uzorci zemljišta, jednom u toku vegetacijske sezone. Uzorkovanje je izvršeno na pet tačaka u zoni korenovog sistema svake ispitivane individue, sa dubine od 0 - 10 cm. Biljni materijal (kora i list) uzorkovan je tri puta u toku vegetacijske sezone - u junu, avgustu i oktobru. Na svim lokalitetima sakupljeno je po 30 g biljnog materijala sa tri individue svake biljne vrste slične starosti (20 - 30 god.). Listovi su uniformno uzimani sa visine od 6 m i sa svih strana krošnje. Uzorci kore 4 - 5 mm debljine i dimenzija od oko 1 x 3 cm² su pažljivo isecani sa stabla na visini od 1,2 do 1,5 m od površine zemlje. Uzorkovanje zemljišta i biljnog materijala je izvršeno alatima i opremom od nerđajućeg čelika, nakon čega su uzorci pakovani u adekvatne obeležene kese i tako dopremljeni u laboratoriju. Svi uzorci zemljišta i biljnog materijala (listovi i kora) predstavljali su kompozitne uzorke sačinjene od uzoraka sakupljenih sa individua svake ispitivane vrste, sa svakog od ispitivanih lokaliteta.

U laboratoriji, uzorci zemljišta i biljnog materijala su sušeni do konstantne težine, usitnjeni i samleveni pomoću laboratorijskog mlina sa nerđajućim noževima, a zatim prosejani kroz sito od 2 mm. Ovako pripremljeni uzorci su korišćeni za dalju analizu.

4.5. Analiza zemljišta

Fizičke karakteristike zemljišta obuhvatile su merenje higroskopne vlage - gravimetrijski (ISO 11465/1993) i utvrđivanje granulometrijskog sastava zemljišta, metodom sedimentacije kombinovanom pipet tehnikom u 0,4 M rastvoru natrijum pirofosfata. Frakcionisanje je obavljeno prema Atterberg, u šest frakcija (2,0 - 0,2 mm, 0,2 - 0,06 mm, 0,06 - 0,02 mm, 0,02 - 0,006 mm, 0,006 - 0,002 mm i < 0,002 mm).

Hemijske osobine zemljišta obuhvatile su elektrometrijsko određivanje aktivne (u H₂O) i supstitucione (u 0,1M KCl) kiselosti (ISO 10390/1994), direktno u suspenziji u odnosu 1:2,5 pomoću WTW (Germany) inoLab[®] 7110 pH metra sa staklenom elektrodom čija je kalibracija vršena puferskim rastvorima na nekoliko tačaka (pH 3, pH 7 i pH 12).

Količine ukupnog ugljenika (TOC) i azota (N) određene su po metodi Nelson and Sommers (1996) suvim spaljivanjem uzoraka na 1150 °C pomoću CNS analizatora Vario EL III (Germany), a zatim organskog ugljenika (OC) i odnosa C/N, računskim putem.

Sadržaj hemijskih elemenata (Al, As, B, Cd, Cr, Cu, Fe, Li, Mn, Ni, Pb, Se, Sr, Zn) u zemljištu određen je prema metodi USEPA 3052 (1996), pripremom uzoraka putem vlažne digestije u mikrotalasnoj peći (CEM, 39 MDS-2000). Uzorci zemljišta (0,3 g uzorka u 9 ml HNO₃ i 3 ml H₂O₂) razoreni su u teflonskim posudama tipa ACV (Advanced Composite Vessels), u pet ponavljanja (n=5). Koncentracije hemijskih elemenata u zemljištu merene su metodom optičke emisije spektrometrije za simultanu multielementarnu analizu (ICP - OES, Spectro Genesis). Sadržaj hemijskih elemenata izražen je u mg/kg uzorka. Analitičke procedure su validirane korišćenjem standardnog referentnog materijala (Loam soil - ERM - CC141), koji podrazumeva standardni postupak digestije radi kontrole kvaliteta laboratorijskog protokola. Tačnost dobijenih rezultata je u opsegu 100 ± 15 %. Referentni materijal je dobijen od Instituta za Referentne Materijale i Merenja (IRMM, Institute for Reference Materials and Measurements, Geel, Belgium), a odobrila ga je i sertifikovala Evropska komisija (EC - JRC, European Commission - Joint Research Centre). Detekcioni limiti (mg/kg) za elemente su bili sledeći: Al - 0,003, As - 0,04, B - 0,001, Cd - 0,008, Cr - 0,011, Cu - 0,007, Fe - 0,011, Li - 0,022, Mn - 0,001, Ni - 0,029, Pb - 0,001, Se - 0,01, Sr - 0,001 i Zn - 0,004.

Frakcionisanje hemijskih elemenata u zemljištu urađeno je metodom optimizovane BCR sekvencijalne ekstrakcije (de Andrade Passos et al. 2010; Sutherland 2010; Sakan et al. 2016). Koncentracija ekstrahovanih elemenata merene su metodom optičke emisije spektrometrije za simultanu multielementarnu analizu (ICP - OES, Spectro Genesis). Sadržaj hemijskih elemenata izražen je u mg/kg zemljišta. U Tabeli 2 su prikazani reagensi i ekstrakcioni uslovi primenjeni u sekvencijalnoj ekstrakcionoj šemi. Analitičke procedure su validirane korišćenjem standardnog referentnog materijala (BCR 701, Institut za Referentne Materijale i Merenja IRMM, Institute for Reference Materials and Measurements, Geel, Belgium) za sekvencijalnu ekstrakciju u tri koraka, koji je tretiran na isti način kao i uzorci radi kontrole kvaliteta laboratorijskog protokola. Tačnost dobijenih rezultata je u opsegu od 100 ± 15 %.

Detekcioni limiti za elemente bili su isti kao kod određivanja ukupnog sadržaja hemijskih elemenata u zemljištu.

Faktor mobilnosti (engl. *Mobility Factor*, MF) određen je računskim putem i predstavlja udeo elemenata izražen u % koji se nalazi u izmenjivoj i kiselo rastvornoj frakciji (F1) BCR sekvencijalne ekstrakcije ($MF = [F1/\Sigma F] \times 100$).

Tabela 2. Reagensi i uslovi rada primenjeni za frakcionisanje elemenata u zemljištu metodom optimizovane BCR sekvencijalne ekstrakcije

Korak	Reagensi	Frakcija	Uslovi
I	40 cm ³ 0,11 mol dm ⁻³ CH ₃ COOH	Izmenjiva i kiselo rastvorna	16 h (preko noći), sobna temperatura
II	40 cm ³ 0,5 mol dm ⁻³ , NH ₂ OH·HCl (pH 1,5)		16 h (preko noći), sobna temperatura
III	10 cm ³ 8,8 mol dm ⁻³ H ₂ O ₂	Organska supstanca i sulfidi	1 h (vodeno kupatilo), 85 °C
	10 cm ³ 8,8 mol dm ⁻³ H ₂ O ₂		1 h (vodeno kupatilo), 85 °C
	40 cm ³ 1 mol dm ⁻³ , CH ₃ COONH ₄ (pH 2)		16 h (preko noći), sobna temperatura
IV	8 cm ³ aqua regia, (HCl:HNO ₃ =3:1)	Rezidualna	1 h (vodeno kupatilo), 85 °C
	8 cm ³ aqua regia, (HCl:HNO ₃ =3:1)		1 h (vodeno kupatilo), 85 °C

4.6. Analiza biljnog materijala

Određivanje sadržaja hemijskih elemenata (Al, As, B, Cd, Cr, Cu, Fe, Li, Mn, Ni, Pb, Se, Sr i Zn) u kori i listu urađeno je na isti način kao i u zemljištu (USEPA 3052) uz upotrebu referentnog materijala lista bukve (Beech leaves – BCR - 100) za validaciju analitičke procedure i kontrolu kvaliteta laboratorijskog protokola. Razaranje biljnog materijala urađeno je u pet ponavljanja (n=5). Sadržaj hemijskih elemenata izražen je u mg/kg uzorka, a detekcioni limiti za elemente bili su isti kao kod analize zemljišta.

Biokoncentracioni faktor (Engl. *Bioconcentration factor*, BCF) određen je računskim putem i predstavlja odnos sadržaja hemijskog elementa u biljnim tkivima (kora i list, C_e biljka) i njegovog sadržaja u zemljištu (C_e zemljište), ($BCF = C_e \text{ biljka} / C_e \text{ zemljište}$).

Efikasnost fotosinteze je određivana metodom indukovane fluorescencije hlorofila prema metodi Krause & Weis (1991). Kinetika fluorescencije hlorofila listova biljaka merena je *in situ* i *in vivo* pomoću portabl fluorimetra (Plant Stress Meter, Biomonitor S.C.I.A.B, Sweeden). Merenja su obavljena u tri sezonska preseka (jun, avgust i oktobar) u pedeset ponavljanja (n=50). Pre merenja listovi su adaptirani na

tamu u trajanju od 30 minuta, nakon čega je hlorofil ekscitiran 2 ili 4 sekunde aktinskom svetlošću gustine fotona od 200 - 400 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$. Mereni su sledeći parametri fluorescencije hlorofila PSII: F_0 (minimalna fluorescencija), F_m (maksimalna fluorescencija), F_v (varijabilna fluorescencija, $F_v = F_m - F_0$) i F_v/F_m (fotosintetička efikasnost). Odnos F_v/F_m se koristi kao mera fotosintetičke efikasnosti fotosistema II (PSII) i korelisan je sa brojem funkcionalno aktivnih reakcionih centara PSII.

Saržaj hlorofila (Chl a i Chl b), kao i ukupnih karotenoida (Tot Carot) u listovima biljaka određen je merenjem apsorbanace ekstrakta odsečka lista u 1 ml dimetil sufoksid (DMSO), na talasnim dužinama od 663 nm, 645 nm i 480 nm na spektrofotometru (Shimadzu UV-160), u pet ponavljanja ($n=5$). Ekstrakt je dobijen zagrevanjem rastvarača DMSO na 65 °C do obezbojavanja lisnog odsečka. Koncentracija Chl a i Chl b, određena je prema formulama Arnon (1949), a koncentracije Tot Carot prema formuli Wellburn (1994). Chl a+b i odnos Chl a/b određeni su računskim putem. Vrednosti pigmenata su izražene u mg/g suve materije.

Morfološke promene listova ispitivanih biljaka utvrđene su na svežem i herbarizovanom materijalu, pri čemu je izvršena karakterizacija, opis i fotografisanje svih promena i oštećenja na listovima.

Utvrđivanje stanja površinskih struktura listova urađeno je metodom elektronske mikroskopije (SEM) korišćenjem JEOL, JSM-6460LV instrumenta sa energo-disperzivnim spektroskopskim detektorom (EDS) i katodom od volframa. Instrument je radio u uslovima visokog vakuma, pri naponu ubrzanja od 20 kV. Za hlađenje detektora korišćen je tečni azot. Za analizu su uzimani isecci listova veličine 5x5 mm koji su zatim postavljeni na podloge za uzorke sa dvostranom lepljivom trakom i prekrivani slojem zlata u vakumskom uređaju za pripremu uzoraka spaterovanjem zlatom (BAL-TEC, SCD 005 SPUTTER COATER), kako bi se osigurala provodljivost uzoraka i omogućila analiza morfologije i karakterizacija uzoraka. Instrument je radio pri struji od 30 mA, a naparavanje je izvršeno da razdaljini od 50 mm u trajanju od 90 sec. Odabrano je oko 15 nasumičnih polja koja su posmatrana na različitim uveličanjima, odnosno lice lista je posmatrano na uveličanju od x500 i x1500, a naličje lista na x500. Prikazane mikrofografije predstavljaju signal/snimak sekundarnih elektrona (SE).

Tačkasta hemijska analiza pojedinačnih atmosferskih čestica deponovanih na površine listova je urađena korišćenjem energetske disperzione spektrometrije (EDS), prema metodi USEPA (2002).

4.7. Reagensi i oprema

Za ispitivanje zemljišta i biljnog materijala korišćeni su reagensi analitičke čistoće. Posuđe koje je korišćeno u radu prano je najpre deterdžentom, zatim isprano običnom vodom pa destilovanom vodom, i na kraju 2 % HNO₃ (dobijenom razblaživanjem koncentrovane HNO₃) i isprano destilovanom vodom. U Tabeli 3. je dat spisak hemikalija i opreme koje su upotrebljeni za analizu zemljišta i biljnog materijala.

Tabela 3. Reagensi i oprema korišćeni za analizu zemljišta i biljnog materijala

Reagensi	Proizvođač
Natrijum pirofosfat	Fisher, UK
Kalijum hlorid	Fisher, UK
Azotna kiselina	Carlo Erba, Francuska
Vodonik peroksid	Carlo Erba, Francuska
Glacijalna sirćetna kiselina	Carlo Erba, Francuska
Hidroksilamin-hidrohlorid	Molar chemical KFT
Amonijum acetat	Lach-ner, Čehoslovačka
Hlorovodonična kiselina	Panreac, Španija
Dimetil sulfoksid	Fisher, UK
Puferi za kalibraciju pH metra	WTW, Nemačka
Multielementarni standardni rastvor za ICP	Merck, Nemačka
Referentni material sediment-BCR-701	JRC, IRMM, Belgija
Referentni materijal zemljište-Loam soil ERM-CC141	JRC, IRMM, Belgija
Referentni biljni materijal-Beech leaves BCR-100	JRC, IRMM, Belgija
Oprema	Proizvođač
Laboratorijski mlin-Culatti Typ MFC	Kinematica AG, Švajcarska
Sušnica-Binder	Binder, Tuttlingen, Nemačka
pH metar- inoLab® 7110 pH	WTW, Nemačka
Mikrotalasna peć-CEM, 39 MDS-2000	CEM, USA
ICP-OES	Spectro Genesis, Nemačka
CNS analizator	Vario EL III, Nemačka
Portabl fluorimetar – Plant Stress Meter	Biomonitor S.C.I.AB, Švedska
Atomski apsorpcioni spektrofotometar	Shimadzu UV-160, Japan
Analitička vaga	Chyo, Japan
Dejonizator za vodu TSRO-500P	Tehnosam, Srbija
Mehaniška rotaciona mućkalica	-
Laboratorijska centrifuga 2 16-KL	Sigma, Nemačka
Skening Elektronski mikroskop (SEM) sa EDS uređajem Oxford INCA JSM-6460LV	JEOL, Japan

4.8. Statistička obrada dobijenih podataka

Analiza svih uzoraka zemljišta i biljnog materijala je urađena u odgovarajućem broju ponavljanja. U zavisnosti od analize, rezultati su tabelarno ili grafički prikazani kao srednja vrednost (M) i standardna devijacija (SD). Za utvrđivanje značajnosti razlika u vrednostima svih parametara između vrsta, tokom sezone (vremenska dinamika) i između lokaliteta (prostorna dinamika) urađena je faktorijska analiza varijansi (Factorial ANOVA). Da bi se utvrdili odnosi između ispitivanih elemenata u zemljištu kao i njihovi mogući izvori, izračunat je Pirsonov koeficijent korelacije (p) i analiza glavnih komponenti (PCA - Principal Component Analysis). Pirsonov koeficijent korelacije je korišćen i da bi se utvrdili međusobni odnosi elemenata u zemljištu i listovima ispitivanih biljaka, kao i njihov uticaj na efikasnost fotosinteze i sadržaj fotosintetskih pigmenata. Diskriminantna analiza (DA) je primenjena u cilju utvrđivanja razlika između ispitivanih vrsta i razlika između lokaliteta na osnovu sadržaja potencijalno toksičnih elemenata (Al, B, Cu, Fe, Mn, Sr, Zn), fotosintetičkih pigmenata (Chl a, Chl b, Tot Carot) i parametara efikasnosti fotosinteze (Fv/Fm) u listovima, i sadržaja potencijalno toksičnih elemenata (Al, B, Cu, Fe, Mn, Sr, Zn) u kori ispitivanih biljaka. Diskriminantna analiza je multivarijantna statistička metoda koja omogućava definisanje varijabli koje utiču na diferencijaciju (razdvajanje) prethodno definisanih grupa. U našem slučaju analizirane grupe su biljne vrste i lokaliteti na kojima je istraživanje izvršeno, a varijable: Al, B, Cu, Fe, Mn, Sr, Zn, Fv/Fm, Chl a, Chl b i Tot Carot. Rezultati dobijeni ovom analizom prikazani su grafički, gde je na X osi prikazana prva diskriminantna funkcija (DC1), a na Y osi druga diskriminantna funkcija (DC2) koje zajedno opisuju 100 % varijabilnosti (razlika). Na prvom grafiku dat je prikaz diferencijacije definisanih grupa, a na drugom varijable koje su uticale na diferencijaciju. Statistička obrada podataka vršena je u statističkom paketu SYSTAT 7 (Systat Software, Inc. 2004) i SPSS 20.

V REZULTATI

5.1. Fizičko – hemijske karakteristike zemljišta

5.1.1. Fizičke osobine zemljišta

Fizičke karakteristike zemljišta kao što su: higroskopna vlaga i granulometrijski sastav date su u Tabeli 4.

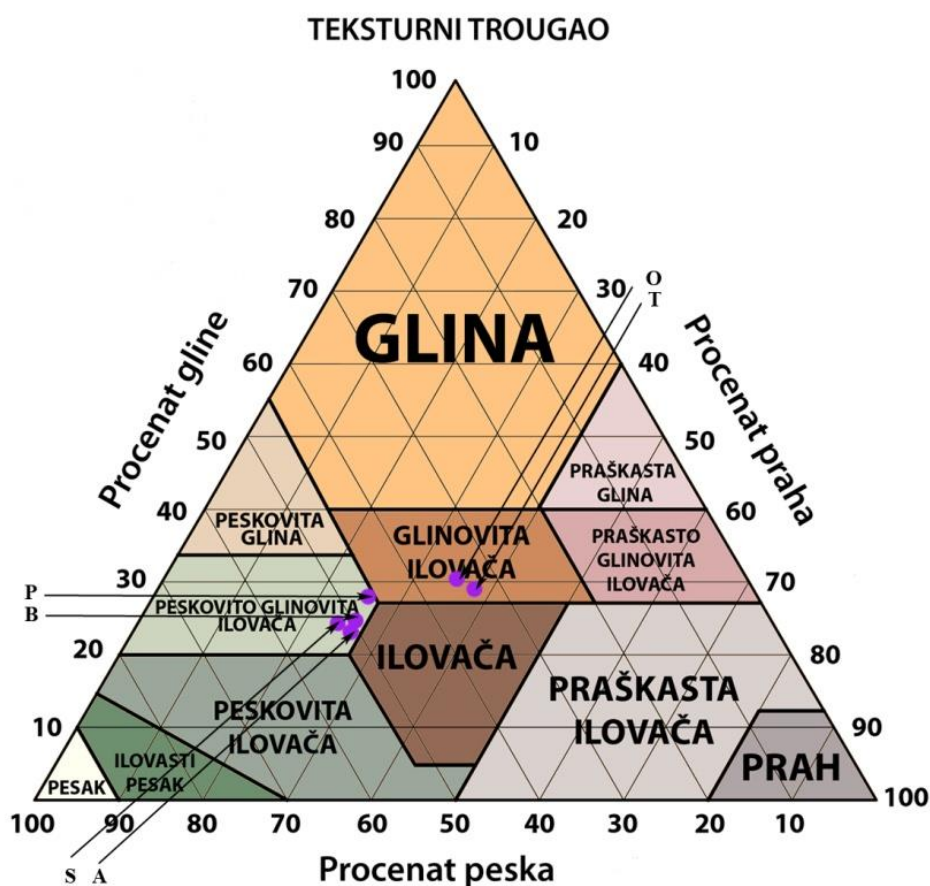
Procenat higroskopne vlage zemljišta je bio veoma nizak i kretao se u intervalu od 2,64 % u Smederevu do 4,11 % u Pančevu.

Zastupljenost frakcija u analiziranim uzorcima zemljišta je različita u zavisnosti od lokaliteta. Frakcija krupnog peska (čestice veličine od 2,0 - 0,2 mm) varirala je od minimalnih 1,21 % u Pančevu do maksimalnih 12,85 % u Smederevu, dok je udeo frakcije sitnog peska (čestice veličine od 0,2 - 0,06 mm) bio u intervalu od 16,65 % u Obrenovcu do 26,93 % u Smederevu. Minimalan udeo frakcije ukupnog peska koju čine čestice veličine od 2,0 mm do 0,02 mm izmeren je na kontrolnom lokalitetu u Topčideru (35,57 %), a maksimalan u Smederevu (53,13 %). Sadržaj praha sa česticama veličine od 0,02 - 0,002 mm varirao je od 25,95 % do 37,29 %, pri čemu su najmanje količine ove frakcije konstantovane u uzorcima zemljišta iz Smedereva, a najveće u uzorcima zemljišta na kontrolnom lokalitetu u Topčideru. Čestice manje od 0,002 mm predstavljaju sadržaj gline, i u analiziranim uzorcima sadržaj ove frakcije se kretao u opsegu od 19,22 % na kontrolnom lokalitetu u Arboretumu do 29,02 % u Obrenovcu. Veći sadržaj frakcije gline i praha u odnosu na frakciju ukupnog peska izmeren je u uzorcima zemljišta iz Pančeva, Obrenovca i kontrolnog lokaliteta u Topčideru, dok je frakcija ukupnog peska dominirala u Smederevu, Beogradu i na kontrolnom lokalitetu u Arboretumu.

Na osnovu sadržaja gline, praha i ukupnog peska, imajući u vidu klasifikaciju (Ćirić 1962), koja se koristi specifično konstruisanim trouglom, za klasifikaciju zemljišta po mehaničkom sastavu, u gradskim parkovima u Pančevu (P), Smederevu (S), Hali Pionir u Beogradu (B) i Arboretumu (A) je prisutna peskovito-glinovita ilovača, dok je u gradskim parkovima u Obrenovcu (O) i na Topčideru (T) konstatovana glinovita ilovača (Slika 6).

Tabela 4. Fizičke osobine zemljišta na ispitivanim lokalitetima

LOKALITET	Higroskopska vlaga	Granulometrijski sastav u %						ukupan pesak	prah	glina+prah
		2,0- 0,2	0,2- 0,06	0,06- 0,02	0,02- 0,006	0,006- 0,002	<0,002			
		mm	mm	mm	mm	mm	mm			
Pančevo	4,11	1,21	23,49	21,13	18,74	9,22	26,21	45,83	27,96	54,17
Smederevo	2,64	12,85	26,93	13,35	17,36	8,59	20,92	53,13	25,95	46,87
Obrenovac	3,08	6,87	16,65	12,75	22,88	11,83	29,02	36,27	34,71	63,73
Beograd	3,01	11,92	20,38	19,93	17,67	9,76	20,34	52,23	27,43	47,77
Kontrolni lokalitet Topčider	3,69	1,96	25,93	7,68	22,84	14,45	27,14	35,57	37,29	64,43
Kontrolni lokalitet Arboretum	3,96	6,72	22,19	23,23	21,63	7,01	19,22	52,14	28,64	47,86



Slika 6. Trougao za određivanje teksturnih klasa supstrata na ispitivanim lokalitetima (P - Pančevo, S - Smederevo, O - Obrenovac, B - Beograd, T - kontrola Topčider i A - kontrola Arboretum).

5.1.2. Hemijske osobine zemljišta

Hemijske karakteristike urbanih zemljišta koje uključuju: aktivnu i supstitucionu kiselost, količinu ukupnog ugljenika (C), azota (N), organskog ugljenika (OC) i odnos C/N predstavljene su u Tabeli 5.

Reakcija ispitivanih zemljišta u vodenom rastvoru se kretala u opsegu od 8,30 na kontrolnom lokalitetu u Arboretumu do 8,61 na kontrolnom lokalitetu u Topčideru, što ove supstrate svrstava u grupu umereno do jako alkalnih (US Soil Survey Division Staff 1993). Ustanovljeno je da nema većih razlika u pH reakciji između analiziranih zemljišta. Supstitucionu kiselost (pH u KCl) ispitivanih zemljišta se kretala u uskom opsegu od 6,84 u Pančevu i na kontrolnom lokalitetu u Arboretumu do 7,0 u Beogradu. Količina ukupnog ugljenika u ispitivanim zemljištima se kretala od 3,20 % u Pančevu do 7,86 % na kontrolnom lokalitetu u Arboretumu, a sadržaj organskog ugljenika u opsegu od 2,10 % u Obrenovcu do 7,60 % u Arboretumu. Količina azota se kretala od 0,18 % u Obrenovcu do 0,44 % u Arboretumu. Količina N je upravo proporcionalna količini ugljenika, odnosno tamo gde je utvrđena najveća količina C, konstatovana je i najveća količina N. Upoređivanjem zemljišta sa različitih lokaliteta uočeno je da zemljišta iz Pančeva, Smedereva, Obrenovca i Topčidera imaju sličan sadržaj C, dok je nešto veća količina prisutna u uzorcima zemljišta iz Beograda i kontrolnog lokaliteta u Arboretumu. Odnos C/N se u ispitivanim zemljištima kretao se u rasponu od 9,68 % u Pančevu i Topčideru do 17,27 % u Arboretumu. Povoljan odnos C/N za razgradnju organske materije je < 20 (Esmaeilzadeh & Ahangar, 2014), što je i konstatovano u svim analiziranim uzorcima.

Tabela 5. Hemijske osobine zemljišta na ispitivanim lokalitetima

LOKALITET	pH		Cukupni %	Corganski %	N %	C/N %
	H ₂ O	KCl				
Pančevo	8,44	6,84	3,20	3,00	0,31	9,68
Smederevo	8,51	6,87	3,48	2,68	0,23	11,65
Obrenovac	8,44	6,99	3,58	2,10	0,18	11,67
Beograd	8,47	7,00	6,61	5,56	0,40	13,90
Kontrolni lokalitet Topčider	8,61	6,93	3,61	2,71	0,28	9,68
Kontrolni lokalitet Arboretum	8,30	6,84	7,86	7,60	0,44	17,27

5.1.3. Sadržaj potencijalno toksičnih elemenata u zemljištu

Razlike u sadržaju hemijskih elemenata (Al, B, Cr, Cu, Fe, Li, Mn, Ni, Pb, Sr, Zn) u zemljištu gde rastu ispitivane biljke analizirane su na osnovu njihove prostorne dinamike u Pančevu, Smederevu, Obrenovcu, Beogradu i kontrolnim lokalitetima. Na osnovu dvofaktorske analize varijanse (factorial ANOVA) uočeno je da na razlike značajno utiču oba faktora varijabilnosti (lokalitet i vrsta, $p < 0,001$), pri čemu lokalitet ima dominantan uticaj na sadržaj Cu, Li, Fe, Mn, Ni, Sr i Zn, vrsta na sadržaj Al i Pb, lokalitet*vrsta na sadržaj Cr, dok podjednak uticaj na sadržaj B imaju i lokalitet i vrsta (Tabela 6).

Sadržaj As, Cd i Se u zemljištu na kojem rastu ispitivane biljke bio je ispod granice detekcije instrumenta.

Tabela 6. Uticaj faktora varijabilnosti (lokalitet i vrsta) na razlike u sadržaju hemijskih elemenata u zemljištu na kome rastu ispitivane vrste

Hemijski element	Lokalitet		Vrsta		Lokalitet* Vrsta	
	F	p	F	p	F	p
Al	7899,00	***	10018,20	***	4072,20	***
B	401,20	***	404,20	***	259,40	***
Cr	20917,00	***	10097,00	***	21521,00	***
Cu	3054,70	***	195,00	***	593,50	***
Fe	675,70	***	511,20	***	399,30	***
Li	13462,00	***	8250,00	***	4999,00	***
Mn	6036,90	***	1580,30	***	1612,00	***
Ni	14241,30	***	859,90	***	3118,90	***
Pb	194,59	***	365,89	***	188,17	***
Sr	2469,28	***	162,53	***	855,97	***
Zn	7362,20	***	1043,60	***	1736,00	***

ANOVA, *** $p < 0,001$

Sadržaj aluminijuma (Al) u zemljištu

Koncentracija Al u uzorcima zemljišta iz Pančeva kretala se u opsegu od 16,518 g/kg (ispod breze) do 50,360 g/kg (ispod mleča), u Smederevu od 13,671 g/kg (ispod mleča), do 21,804 g/kg (ispod javora), u Obrenovcu od 21,553 g/kg (ispod breze) do 38,399 g/kg (ispod mleča), u Beogradu od 18,294 g/kg (ispod javora) do 33,473 g/kg (ispod mleča) i na kontrolnom lokalitetu od 29,614 g/kg (ispod javora) do 40,119 g/kg (ispod mleča). Najniže koncentracije Al bile su u zemljištu ispod mleča u Smederevu, a najviše takođe ispod mleča u Pančevu. Primetno je da je najviše Al uvek bilo u zemljištu na

kome raste mleč, osim u Smederevu, gde je maksimum izmeren u zemljištu ispod javora. Količina Al izmerena u zemljištu na kojem rastu izabrane biljne vrste značajno se razlikuje između ispitivanih lokaliteta i kontrolnog lokaliteta ($p < 0,001$), (Tabela 7).

Sadržaj bora (B) u zemljištu

Koncentracija B u uzorcima zemljišta iz Pančeva kretala se u rasponu od 128,630 mg/kg (ispod breze) do 225,150 mg /kg (ispod mleča), u Smederevu od 127,175 mg/kg (ispod mleča) do 153,352 mg/kg (ispod javora), u Obrenovcu od 155,958 mg/kg (ispod breze) do 200,072 mg/kg (ispod javora), u Beogradu od 129,080 mg/kg (ispod javora) do 152,030 mg/kg (ispod breze) i na kontrolnom lokalitetu od 149,058 mg/kg (ispod javora) do 175,822 mg/kg (ispod mleča). Slično Al, najniža koncentracija B bila je u zemljištu gde raste mleč u Smederevu, a najviše u zemljištu koje okružuje individue mleča u Pančevu. Sadržaj B u zemljištu gde rastu ispitivane vrste značajno se razlikuje između ispitivanih lokaliteta i kontrolnog lokaliteta ($p < 0,001$), jedino je količina B u zemljištu ispod javora u Smederevu bila slična kao na kontrolnom lokalitetu (ns), (Tabela 7).

Sadržaj hroma (Cr) u zemljištu

Koncentracija Cr u uzorcima zemljišta iz Pančeva varirala je u opsegu od 53,052 mg/kg (ispod breze) do 122,462 mg/kg (ispod mleča), u Smederevu od 72,105 mg/kg (ispod mleča) do 126,592 mg/kg (ispod breze), u Obrenovcu od 85,435 mg/kg (ispod breze) do 115,610 mg/kg (ispod mleča), zatim u Beogradu od 71,472 mg/kg takođe (ispod breze) do 78,488 (ispod mleča) i na kontrolnom lokalitetu od 75,760 mg/kg (ispod javora) do 97,155 mg/kg (ispod mleča). Zemljište gde rastu breze u Pančevu se odlikovalo najnižom količinom Cr, dok se najvišim sadržajem odlikovalo zemljište iz Smedereva gde takođe raste breza. Količina Cr u zemljištu bila je slična na ispitivanim lokalitetima i kontrolnom lokalitetu (ns), jedino je zemljište ispod javora iz Smedereva ($p < 0,001$) i Obrenovca ($p < 0,001$) i ispod breza iz Pančeva ($p < 0,05$) i Smedereva ($p < 0,001$) karakterisao različit sadržaj Cr u poređenju sa kontrolnim lokalitetom (Tabela 7).

Sadržaj bakra (Cu) u zemljištu

Koncentracija Cu u uzorcima zemljišta iz Pančeva varirala je u opsegu od 11,928 mg/kg (ispod breze) do 21,220 mg/kg (ispod mleča), u Smederevu od 24,960 mg/kg (ispod javora) do 30,660 mg/kg (ispod breze), u Obrenovcu od 15,110 mg/kg (ispod breze) do 23,832 mg/kg (ispod mleča), u Beogradu od 16,018 mg/kg (ispod mleča) do 26,818 mg/kg (ispod javora) i na kontrolnom lokalitetu od 12,635 mg/kg (ispod breze) do 14,088 mg/kg (ispod javora). Najniže koncentracije Cu izmerene su u zemljištu koje okružuje breze u Pančevu, a najviše ispod breza u Smederevu. Količina Cu u zemljištu na kojem rastu izabrane vrste značajno se razlikuje između ispitivanih lokaliteta i kontrolnog lokaliteta ($p < 0,001$), jedino zemljište gde rastu breze iz Pančeva je imalo sličan sadržaj Cu kao na kontrolnom lokalitetu (ns), (Tabela 7).

Sadržaj gvožđa (Fe) u zemljištu

Koncentracija Fe u uzorcima zemljišta je bila ujednačena na svim lokalitetima i kretala se u Pančevu u intervalu od 22,884 mg/kg (ispod breze) do 39,504 mg/kg (ispod mleča), u Smederevu od 22,778 mg/kg (ispod breze) do 26,317 mg/kg (ispod javora), u Obrenovcu od 27,496 mg/kg (ispod breze) do 36,568 mg/kg (ispod javora), u Beogradu od 21,194 mg/kg (ispod javora) do 26,644 (ispod mleča) i na kontrolnom lokalitetu od 26,392 mg/kg (ispod javora) do 30,643 mg/kg (ispod mleča). Najniže koncentracije Fe izmerene su u zemljištu ispod javora u Beogradu, a najviše ispod mleča u Pančevu. Isto kao za Cu, sadržaj Fe u zemljištu značajno se razlikuje između ispitivanih lokaliteta i kontrolnog lokaliteta ($p < 0,001$), jedino je zemljište gde rastu breze u Pančevu imalo sličan sadržaj Fe kao na kontrolnom lokalitetu (ns), (Tabela 7).

Sadržaj litijuma (Li) u zemljištu

Koncentracija Li u zemljištu u Pančevu je bila u opsegu od 72,702 mg/kg (ispod breze) do 129,720 mg/kg (ispod mleča), u Smederevu od 65,398 mg/kg (ispod mleča) do 86,728 mg/kg (ispod javora), u Obrenovcu od 92,598 mg/kg (ispod breze) do 120,975 mg/kg (ispod javora), u Beogradu od 62,745 mg/kg (ispod javora) do 87,840 mg/kg (ispod mleča) i na kontrolnom lokalitetu od 89,885 mg/kg (ispod javora) do 109,095

mg/kg (ispod mleča). Najniži sadržaj Li karakterisao je zemljište u Beogradu gde raste javor, a najviši zemljište u Pančevu gde raste mleč. Koncentracija Li u svim uzorcima bila je slična kao u zemljištu sa kontrolnog lokaliteta (ns), jedino je u Smederevu u zemljištu na kome raste mleč sadržaj bio niži nego na kontroli ($p < 0,05$), (Tabela 7).

Sadržaj mangana (Mn) u zemljištu

Koncentracija Mn u zemljištu iz Pančevu kretala se u intervalu od 545,348 mg/kg (ispod breze) do 754,470 mg/kg (ispod mleča), u Smederevu od 477,272 mg/kg (ispod breze) do 531,382 mg/kg (ispod mleča), u Obrenovcu od 593,908 mg/kg (ispod breze) do 913,048 mg/kg (ispod javora), u Beogradu od 429,135 mg/kg (ispod javora) do 513,420 mg/kg (ispod mleča) i na kontrolnom lokalitetu od 519,848 mg/kg (ispod javora) do 637,432 mg/kg (ispod mleča). U zemljištu u Beogradu gde raste javor izmerena je najniža koncentracija Mn, dok su najviše količine Mn izmerene u zemljištu u Obrenovcu gde raste javor. Iako je najviša koncentracija Mn izmerena ispod javora u Obrenovcu (913,048 mg/kg), na ostalim lokalitetima najviše Mn je bilo ispod mleča. Isto kao za Al, količina Mn u zemljištu gde rastu ispitivane vrste značajno se razlikuje između ispitivanih lokaliteta i kontrolnog lokaliteta ($p < 0,001$), (Tabela 8).

Sadržaj nikla (Ni) u zemljištu

Koncentracija Ni u zemljištu gde rastu ispitivane vrste u Pančevu varirala je od 21,515 mg/kg (ispod breze) do 73,602 mg/kg (ispod javora), u Smederevu od 72,318 mg/kg (ispod mleča) do 134,732 mg/kg (ispod breze), u Obrenovcu od 60,515 mg/kg (ispod breze) do 97,988 mg/kg (ispod mleča), u Beogradu od 35,378 mg/kg (ispod breze) do 38,532 mg/kg (ispod mleča) i na kontrolnom lokalitetu od 34,708 mg/kg (ispod breze) do 48,648 mg/kg (ispod mleča). Najniže koncentracije Ni izmerene su u zemljištu koje okružuje breze u Pančevu, a najviše takođe ispod breza u Smederevu. Primetno je da, slično kao kod Al, najmanje Ni ima u zemljištima koji okružuju breze, osim u Smederevu gde je najmanje Ni bilo u podlozi oko mleča. Koncentracija Ni u zemljištu značajno se razlikuje između ispitivanih lokaliteta i kontrole ($p < 0,001$), jedino je u zemljištu ispod javora i mleča u Beogradu sadržaj Ni bio sličan kao na kontrolnom lokalitetu (ns), (Tabela 8).

Sadržaj olova (Pb) u zemljištu

Koncentracija Pb u uzorcima zemljišta iz Pančeva bila je u intervalu od 43,760 mg/kg (ispod breze) do 76,608 mg/kg (ispod mleča), u Smederevu od 47,320 mg/kg (ispod mleča) do 100,805 mg/kg (ispod javora), u Obrenovcu od 45,215 mg/kg (ispod breze) do 92,052 mg/kg (ispod mleča), u Beogradu od 72,292 mg/kg (ispod breze) do 128,795 mg/kg (ispod javora) i na kontrolnom lokalitetu od 71,742 mg/kg (ispod mleča) do 80,078 mg/kg (ispod breze). Najniže koncentracije Pb su izmerene ispod breze u Pančevu, a najviše ispod javora u Beogradu. Zemljište iz Pančeva i Beograda gde raste mleč imalo je sličan sadržaj Pb kao zemljište sa kontrole (ns), dok se sadržaj Pb u zemljištu iz Smedereva i Obrenovca značajno razlikuje u odnosu na kontrolni lokalitet ($p < 0,001$). Količina Pb u uzorcima zemljišta na kojima raste javor i breza značajno se razlikuje između ispitivanih lokaliteta i kontrole ($p < 0,001$), jedino je u zemljištu ispod breza u Beogradu sadržaj Pb bio sličan kao na kontrolnom lokalitetu (ns), (Tabela 8).

Sadržaj stroncijuma (Sr) u zemljištu

U uzorcima zemljišta iz Pančeva koncentracija Sr je bila u opsegu od 18,318 mg/kg (ispod breze) do 44,128 mg/kg (ispod mleča), u Smederevu od 44,662 mg/kg (ispod mleča) do 50,600 mg/kg (ispod javora), u Obrenovcu od 28,015 mg/kg (ispod javora) do 85,535 mg/kg (ispod breze), u Beogradu od 50,132 mg/kg (ispod breze) do 115,138 mg/kg (ispod mleča) i na kontrolnom lokalitetu od 28,158 mg/kg (ispod breze) do 41,285 mg/kg (ispod javora). Najniža koncentracija Sr izmerena je u uzorcima zemljišta gde rastu breze u Pančevu, a najviša ispod individua mleča u Beogradu. Isto kao za Al i Mn, količina Sr u zemljištu urbanih parkova značajno se razlikuje između ispitivanih lokaliteta i kontrolnog lokaliteta ($p < 0,001$), (Tabela 8).

Sadržaj cinka (Zn) u zemljištu

Koncentracija Zn u uzorcima zemljišta iz Pančeva kretala se u intervalu od 51,708 mg/kg (ispod javora) do 61,965 mg/kg (ispod breze), u Smederevu od 119,560 mg/kg (ispod breze) do 206,00 mg/kg (ispod mleča), u Obrenovcu od 45,680 mg/kg (ispod breze) do 80,025 mg/kg (ispod mleča), u Beogradu od 80,192 mg/kg (ispod mleča) do

248,015 mg/kg (ispod javora) i na kontrolnom lokalitetu od 51,895 mg/kg (ispod mleča) do 57,512 mg/kg (ispod javora). Zemljište gde rastu breze u Obrenovcu odlikuju najniže koncentracije Zn, a zemljišta na kojem raste javor u Beogradu najviše. Sadržaj Zn u analiziranom zemljištu značajno se razlikuje između ispitivanih lokaliteta i kontrole ($p < 0,001$), jedino nije bilo razlike u sadržaju ovog elementa u zemljištu u Pančevu gde raste mleč i javor (ns) i u Obrenovcu gde raste javor u odnosu na sadržaj Zn na kontrolnom lokalitetu (Tabela 8).

Tabela 7. Razlike u sadržaju Al, B, Cr, Cu, Fe i Li u zemljištu ispod ispitivanih vrsta u Pančevu, Smederevu, Obrenovcu, Beogradu i na kontrolnom lokalitetu

Al [g/kg]	<i>Acer platanoides</i>						<i>Acer pseudoplatanus</i>						<i>Betula pendula</i>					
	M±SD	P	S	O	B	K	M±SD	P	S	O	B	K	M±SD	P	S	O	B	K
Pančevo	50,360±0,388	/	***	***	***	***	28,553±0,226	/	***	***	***	***	16,518±0,143	/	**	***	***	***
Smederevo	13,671±0,132	***	/	***	***	***	21,804±0,133	***	/	***	***	***	17,457±0,341	**	/	***	***	***
Obrenovac	38,399±0,113	***	***	/	***	***	34,160±0,484	***	***	/	***	***	21,553±0,134	***	***	/	***	***
Beograd	33,473±0,121	***	***	***	/	***	18,294±0,317	***	***	***	/	***	26,596±0,259	***	***	***	/	***
Kontrola	40,119±0,206	***	***	***	***	/	29,614±0,377	***	***	***	***	/	36,318±0,293	***	***	***	***	/
B [mg/kg]	<i>Acer platanoides</i>						<i>Acer pseudoplatanus</i>						<i>Betula pendula</i>					
Pančevo	225,150±5,237	/	***	***	***	***	165,240±3,942	/	***	***	***	***	128,630±3,658	/	*	***	***	***
Smederevo	127,175±2,562	***	/	***	***	***	153,352±2,104	***	/	***	***	ns	137,888±2,303	*	/	***	***	***
Obrenovac	188,722±0,566	***	***	/	***	***	200,072±1,532	***	***	/	***	***	155,958±3,176	***	***	/	***	**
Beograd	147,992±5,065	***	***	***	/	***	129,080±4,923	***	***	***	/	***	152,030±2,088	***	***	ns	/	***
Kontrola	175,822±2,311	***	***	***	***	/	149,058±1,718	***	ns	***	***	/	166,282±2,092	***	***	**	***	/
Cr [mg/kg]	<i>Acer platanoides</i>						<i>Acer pseudoplatanus</i>						<i>Betula pendula</i>					
Pančevo	122,462±7,448	/	***	ns	***	ns	91,000±21,127	/	ns	ns	ns	ns	53,052±1,019	/	***	**	ns	*
Smederevo	72,105±1,288	***	/	***	ns	ns	115,998±3,641	ns	/	ns	***	***	126,592±1,185	***	/	***	***	***
Obrenovac	115,610±0,422	ns	***	/	***	ns	113,742±14,826	ns	ns	/	***	***	85,435±18,600	**	***	/	ns	ns
Beograd	78,488±6,139	***	ns	***	/	ns	72,488±7,180	ns	***	***	/	ns	71,472±9,136	ns	***	ns	/	ns
Kontrola	97,155±1,897	ns	ns	ns	ns	/	75,760±16,649	ns	***	***	ns	/	80,278±1,406	*	***	ns	ns	/
Cu [mg/kg]	<i>Acer platanoides</i>						<i>Acer pseudoplatanus</i>						<i>Betula pendula</i>					
Pančevo	21,220±0,180	/	***	***	***	***	16,692±0,153	/	***	***	***	***	11,928±0,224	/	***	***	***	ns
Smederevo	29,442±0,151	***	/	***	***	***	24,960±0,280	***	/	***	***	***	30,660±0,504	***	/	***	***	***
Obrenovac	23,832±0,579	***	***	/	***	***	19,772±0,372	***	***	/	***	***	15,110±0,274	***	***	/	***	***
Beograd	16,018±0,181	***	***	***	/	***	26,818±0,614	***	***	***	/	***	23,528±0,109	***	***	***	/	***
Kontrola	13,770±0,211	***	***	***	***	/	14,088±0,624	***	***	***	***	/	12,635±0,155	ns	***	***	***	/
Fe [g/kg]	<i>Acer platanoides</i>						<i>Acer pseudoplatanus</i>						<i>Betula pendula</i>					
Pančevo	39,504±0,225	/	***	***	***	***	29,009±0,557	/	***	***	***	***	22,884±0,560	/	***	***	***	ns
Smederevo	23,756±0,112	***	/	***	***	***	26,317±0,382	***	/	***	***	***	22,778±0,251	***	/	***	***	***
Obrenovac	29,889±0,831	***	***	/	***	***	36,568±0,282	***	***	/	***	***	27,496±0,685	***	***	/	***	***
Beograd	26,644±0,094	***	***	***	/	***	21,194±0,277	***	***	***	/	***	24,588±0,331	***	***	***	/	***
Kontrola	30,643±0,564	***	***	***	***	/	26,392±0,355	***	***	***	***	/	29,608±0,551	ns	***	***	***	/
Li [mg/kg]	<i>Acer platanoides</i>						<i>Acer pseudoplatanus</i>						<i>Betula pendula</i>					
Pančevo	129,720±10,474	/	***	ns	*	ns	90,088±13,858	/	ns	ns	ns	ns	72,702±12,203	/	ns	ns	ns	ns
Smederevo	65,398±7,522	***	/	***	ns	*	86,728±6,652	ns	/	ns	ns	ns	72,078±9,823	ns	/	ns	ns	ns
Obrenovac	117,550±14,307	ns	***	/	ns	ns	120,975±17,506	ns	ns	/	***	ns	92,598±24,154	ns	ns	/	ns	ns
Beograd	87,840±15,010	*	ns	ns	/	ns	62,745±10,803	ns	ns	***	/	ns	81,342±12,383	ns	ns	ns	/	ns
Kontrola	109,095±9,148	ns	*	ns	ns	/	89,885±22,502	ns	ns	ns	ns	/	99,368±17,463	ns	ns	ns	ns	/

ANOVA, n=5, *p<0,05, **p<0,01, ***p<0,001, ns-nema značajnih razlika

Tabela 8. Razlike u sadržaju Mn, Ni, Pb, Sr i Zn u zemljištu ispod ispitivanih vrsta u Pančevu, Smederevu, Obrenovcu, Beogradu i na kontrolnom lokalitetu

Mn [mg/kg]		Acer platanoides						Acer pseudoplatanus						Betula pendula						
	M±SD	P	S	O	B	K		M±SD	P	S	O	B	K		M±SD	P	S	O	B	K
Pančevo	754,470±1,982	/	***	***	***	***		650,018±4,299	/	***	***	***	***		545,348±2,221	/	***	***	***	***
Smederevo	531,382±0,963	***	/	***	***	***		503,845±1,400	***	/	***	***	**		477,272±0,850	***	/	***	***	***
Obrenovac	699,458±8,384	***	***	/	***	***		913,048±3,939	***	***	/	***	***		593,908±2,228	***	***	/	***	***
Beograd	513,420±4,700	***	***	***	/	***		429,135±1,216	***	***	***	/	***		498,032±7,002	***	***	***	/	***
Kontrola	637,432±4,198	***	***	***	***	/		519,848±10,008	***	**	***	***	/		616,225±4,127	***	***	***	***	/
Ni [mg/kg]		Acer platanoides						Acer pseudoplatanus						Betula pendula						
	M±SD	P	S	O	B	K		M±SD	P	S	O	B	K		M±SD	P	S	O	B	K
Pančevo	67,928±0,989	/	***	***	***	***		73,602±0,955	/	***	***	***	***		21,515±0,379	/	***	***	***	***
Smederevo	72,318±0,912	***	/	***	***	***		100,382±1,828	***	/	***	***	***		134,732±1,132	***	/	***	***	***
Obrenovac	97,988±0,712	***	***	/	***	***		88,172±0,700	***	***	/	***	***		60,515±0,495	***	***	/	***	***
Beograd	38,532±0,290	***	***	***	/	***		37,585±0,122	***	***	***	/	ns		35,378±0,554	***	***	***	/	ns
Kontrola	48,648±0,557	***	***	***	***	/		38,595±0,686	***	***	***	ns	/		34,708±0,310	***	***	***	ns	/
Pb [mg/kg]		Acer platanoides						Acer pseudoplatanus						Betula pendula						
	M±SD	P	S	O	B	K		M±SD	P	S	O	B	K		M±SD	P	S	O	B	K
Pančevo	76,608±3,931	/	***	***	ns	ns		62,318±1,871	/	***	ns	***	***		43,760±1,768	/	***	ns	***	***
Smederevo	47,320±0,415	***	/	***	***	***		100,805±5,119	***	/	***	***	***		70,380±1,044	***	/	***	ns	**
Obrenovac	92,052±0,910	***	***	/	***	***		68,870±1,325	ns	***	/	***	**		45,215±4,634	ns	***	/	***	***
Beograd	79,002±0,685	ns	***	***	/	ns		128,795±1,870	***	***	***	/	***		72,292±3,191	***	ns	***	/	ns
Kontrola	71,742±6,109	ns	***	***	ns	/		78,725±3,095	***	***	**	***	/		80,078±0,312	***	**	***	ns	/
Sr [mg/kg]		Acer platanoides						Acer pseudoplatanus						Betula pendula						
	M±SD	P	S	O	B	K		M±SD	P	S	O	B	K		M±SD	P	S	O	B	K
Pančevo	44,128±2,532	/	ns	*	***	***		27,680±2,006	/	***	ns	***	***		18,318±0,494	/	***	***	***	***
Smederevo	44,662±0,849	ns	/	**	***	***		50,600±1,461	***	/	***	***	***		47,658±1,412	***	/	***	ns	***
Obrenovac	39,432±0,506	*	**	/	***	***		28,015±0,906	ns	***	/	***	***		85,535±3,877	***	***	/	***	***
Beograd	115,138±1,086	***	***	***	/	***		98,120±0,818	***	***	***	/	***		50,132±0,872	***	ns	***	/	***
Kontrola	31,365±1,038	***	***	***	***	/		41,285±0,488	***	***	***	***	/		28,158±1,660	***	***	***	***	/
Zn [mg/kg]		Acer platanoides						Acer pseudoplatanus						Betula pendula						
	M±SD	P	S	O	B	K		M±SD	P	S	O	B	K		M±SD	P	S	O	B	K
Pančevo	56,895±0,677	/	***	***	***	ns		51,708±1,922	/	***	***	***	ns		61,965±3,215	/	***	***	***	**
Smederevo	206,060±0,688	***	/	***	***	***		152,985±2,527	***	/	***	***	***		119,560±1,568	***	/	***	***	***
Obrenovac	80,025±2,044	***	***	/	ns	***		62,768±1,226	***	***	/	***	ns		45,680±4,879	***	***	/	***	***
Beograd	80,192±2,259	***	***	ns	/	***		248,015±2,095	***	***	***	/	***		134,530±0,668	***	***	**	/	***
Kontrola	51,895±0,217	ns	***	***	***	/		57,512±2,902	ns	***	ns	***	/		54,835±0,351	**	***	***	***	/

ANOVA, n=5, *p<0,05, **p<0,01, ***p<0,001, ns-nema značajnih razlika

5.1.4. Utvrđivanje porekla i odnosa između potencijalno toksičnih elemenata u zemljištu na kojem rastu ispitivane biljne vrste

Analizom Pirsonovog koeficijenta korelacije utvrđeni su međusobni odnosi hemijskih elemenata u zemljištu sa ispitivanih lokaliteta. Rezultati korelacione analize su prikazani u Tabeli 9. Ovi rezultati pružaju informacije o međusobnom odnosu i mogućem poreklu hemijskih elemenata u ispitivanim zemljištima.

U Pančevu, statistički značajna korelacija je utvrđena između svih elemenata, osim sa Zn. Cink je jedino bio značajno negativno korelisan sa Ni (-0,827**), dok sa ostalim elementima nije utvrđena značajna korelacija. Značajna negativna korelacija Zn i Ni ukazuje na njihovo različito poreklo u Pančevu. U Smederevu, značajna pozitivna korelacija je konstantovana između sledećih parova elemenata: Al (B, Cr, Fe, Li, Pb, Sr); B (Cr, Fe, Li, Pb, Sr); Cr (Ni, Pb, Sr); Fe (Li, Pb, Sr); Li (Pb, Sr); Mn-Zn i Pb-Sr, ukazujući na njihovo zajedničko poreklo. Pored značajne pozitivne korelacije, u Smederevu je uočena i značajna negativna korelacija između Cu (Al, B, Fe, Li, Pb, Sr); Mn (Cr, Ni) i Ni-Zn. U Obrenovcu značajna pozitivna korelacija je nađena između: Al (B, Cu, Cr, Li, Ni, Pb, Zn); B (Cu, Cr, Fe, Li, Mn, Ni, Pb, Zn); Cu (Cr, Ni, Pb, Zn); Cr (Li, Ni, Pb, Zn); Fe-Mn; Ni (Pb, Zn) i Pb-Zn. U Obrenovcu, značajna negativna korelacija postoji između Sr i svih ostalih elemenata, osim sa Li sa kojim nije korelisan. U Beogradu, značajna pozitivna korelacija je nađena između: Al (B, Fe, Li, Mn); B (Fe, Li, Mn); Cu (Pb, Zn); Fe (Li, Mn); Li-Mn; Ni-Sr i Pb-Zn. Međutim, za razliku od drugih ispitivanih zemljišta, zemljišta u Beogradu se odlikuju značajnom negativnom korelacijom Cu sa (Al, B, Fe, Li, Mn) i Zn sa (Al, B, Fe i Mn). Na kontrolnom lokalitetu, značajna pozitivna korelacija je nađena između sledećih parova elemenata Al (B, Cr, Fe, Mn); B (Cr, Fe, Mn); Cu-Sr; Cr (Fe, Li, Mn, Ni); Fe-Mn; Sr-Zn. Pored značajne pozitivne korelacije u Beogradu je nađena i značajna negativna korelacija između Pb-Ni; Sr (Al, B, Fe, Mn); Zn (Al, B, Cr, Fe, Li, Mn, Ni).

Tabela 9. Pirsonov koeficijent korelacije za ispitivane hemijske elemente u zemljištu na kome rastu odabrane vrste

		B	Cu	Cr	Fe	Li	Mn	Ni	Pb	Sr	Zn
PANČEVO	Al	0,995**	0,983**	0,905**	0,998**	0,907**	0,986**	0,705*	0,955**	0,987**	-0,314
	B		0,984**	0,924**	0,998**	0,914**	0,985**	0,721**	0,971**	0,991**	-0,319
	Cu			0,927**	0,985**	0,884**	0,998**	0,819**	0,980**	0,971**	-0,451
	Cr				0,916**	0,925**	0,928**	0,790**	0,957**	0,944**	-0,388
	Fe					0,714**	0,986**	0,714**	0,964**	0,988**	-0,316
	Li						0,893**	0,612*	0,893**	0,953**	-0,190
	Mn							0,812**	0,984**	0,977**	-0,450
	Ni								0,842**	0,705*	-0,827**
	Pb									0,969**	-0,483
	Sr										-0,304
		B	Cu	Cr	Fe	Li	Mn	Ni	Pb	Sr	Zn
SMEDEREVO	Al	0,977**	-0,767**	0,729**	0,719**	0,757**	-0,473	0,408	0,988**	0,909**	-0,575
	B		-0,777**	0,682*	0,760**	0,783**	-0,407	0,347	0,970**	0,934**	-0,509
	Cu			-0,129	-0,978**	-0,645*	-0,189	0,265	-0,788**	-0,637*	-0,071
	Cr				0,071	0,467	-0,940**	0,918**	0,690*	0,713**	-0,971
	Fe					0,600*	0,256	-0,320	0,734**	0,631*	0,142
	Li						-0,253	0,190	0,806**	0,813**	-0,340
	Mn							-0,994**	-0,439	-0,459	0,992**
	Ni								0,366	0,418	-0,978**
	Pb									0,876**	-0,543
	Sr										-0,549
		B	Cu	Cr	Fe	Li	Mn	Ni	Pb	Sr	Zn
OBRENOVAC	Al	0,877**	0,963**	0,761**	0,506	0,587*	0,573	0,998**	0,956**	-0,903**	0,943**
	B		0,734**	0,766**	0,846**	0,647*	0,888**	0,869**	0,718**	-0,985**	0,706*
	Cu			0,655*	0,284	0,454	0,357	0,967**	0,983**	-0,778**	0,969**
	Cr				0,533	0,899**	0,545	0,735**	0,743**	-0,688*	0,733**
	Fe					0,485	0,985**	0,498	0,262	-0,809**	0,258
	Li						0,506	0,559	0,568	-0,553	0,569
	Mn							0,563	0,327	-0,860**	0,316
	Ni								0,958**	-0,900**	0,947**
	Pb									-0,743**	0,993**
	Sr										-0,726**
		B	Cu	Cr	Fe	Li	Mn	Ni	Pb	Sr	Zn
BEOGRAD	Al	0,763**	-0,960**	0,334	0,991**	0,682*	0,949**	0,236	-0,834**	0,200	-0,988**
	B		-0,584*	0,341	0,786**	0,667*	0,872**	-0,329	-0,933**	-0,391	-0,825**
	Cu			-0,394	-0,924**	-0,637*	-0,833**	-0,483	0,652*	-0,458	0,909**
	Cr				0,248	0,371	0,230	0,478	-0,076	0,351	-0,261
	Fe					0,651*	0,963**	0,140	-0,879**	0,113	-0,994**
	Li						0,707*	0,030	-0,618*	-0,016	-0,685
	Mn							-0,040	-0,948**	-0,096	-0,983**
	Ni								0,332	0,974**	-0,094
	Pb									0,367	0,906**
	Sr										-0,055
		B	Cu	Cr	Fe	Li	Mn	Ni	Pb	Sr	Zn
KONTROLA	Al	0,986**	-0,339	0,640*	0,956**	0,431	0,970**	0,574	-0,502	-0,805**	-0,810**
	B		-0,310	0,704*	0,944**	0,478	0,963**	0,573	-0,493	-0,784**	-0,845**
	Cu			0,269	-0,400	0,263	-0,431	0,502	0,272	0,696*	-0,065
	Cr				0,649*	0,708*	0,597*	0,695*	-0,458	-0,332	-0,932**
	Fe					0,513	0,973**	0,426	-0,441	-0,863**	-0,826**
	Li						0,503	0,354	-0,151	-0,300	-0,716**
	Mn							0,406	-0,352	-0,899**	-0,799**
	Ni								-0,727**	-0,010	-0,632*
	Pb									0,063	0,474
	Sr										0,601*

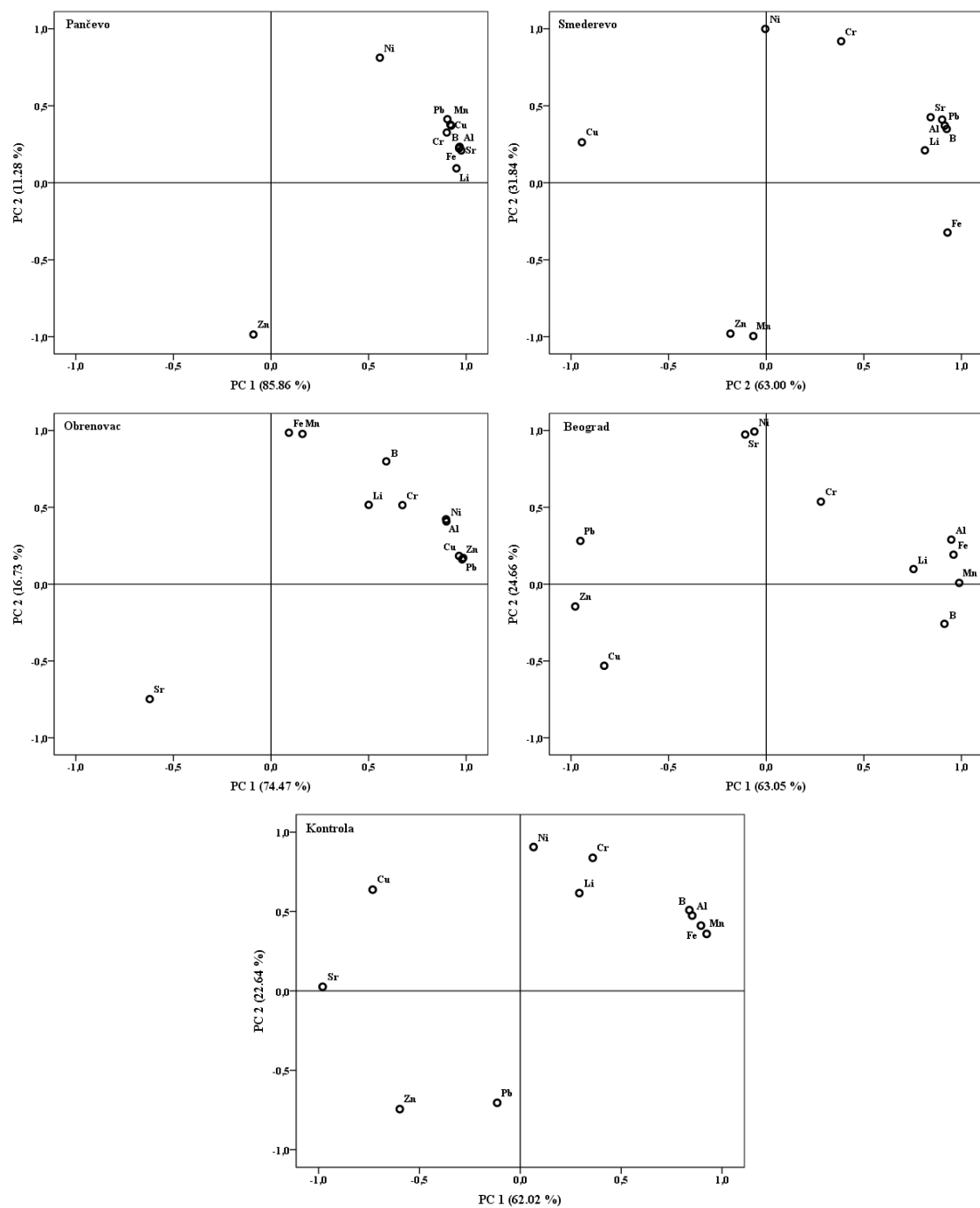
**p<0,01, *p<0,05

U cilju utvrđivanja potencijalnih izvora i mogućeg porekla hemijskih elemenata u ispitivanim uzorcima zemljišta u Pančevu, Smederevu, Obrenovcu, Beogradu i kontrolnom lokalitetu, urađena je analiza glavnih komponenti. U ovu analizu su uključeni podaci o sadržaju svih ispitivanih elemenata i u razmatranje su uzete samo glavne komponente sa svojstvenim vrednostima (Engl. *eigenvalue*) većim od jedan (> 1). Da bi se dobila jednostavnija struktura i jasnija slika između ispitivanih varijabli urađena je Varimax rotacija faktora sa Kajzerovom normalizacijom i rezultati analize su prikazani u Tabeli 10 i na Slici 7.

Analizom uzoraka iz Pančeva dobijene su dve glavne komponente koje zajedno opisuju 97,14 % varijabilnosti. Prva komponenta (PC1) koja objašnjava 85,86 % varijabilnosti ima visoke vrednosti koeficijenta korelacije sa Al, B, Cu, Cr, Fe, Li, Mn, Pb i Sr. Druga glavna komponenta (PC2) objašnjava 11,28 % varijabilnosti i značajno je pozitivno korelisana sa Ni, a značajno negativno sa Zn. U Smederevu su se izdvojile dve glavne komponente sa svojstvenim vrednostima većim od 1, koje zajedno objašnjavaju 94,84 % varijabilnosti. Prva komponenta objašnjava 63,00 % varijabilnosti i značajno je pozitivno korelisana sa Al, B, Fe, Li, Pb i Sr, a značajno negativno sa Cu. Druga glavna komponenta objašnjava 31,84 % varijabilnosti i pokazuje značajnu pozitivnu korelaciju sa Cr i Ni, i značajnu negativnu sa Mn i Zn. Analizom uzoraka iz Obrenovca takođe su se izdvojile dve komponente koje zajedno objašnjavaju 91,20 % varijabilnosti. Prva komponenta koja objašnjava 74,47 % varijabilnosti značajno je korelisana sa Al, Cu, Cr, Ni, Pb i Zn, dok je druga glavna komponenta (16,73 %) korelisana sa B, Fe, Mn. Obe komponente su podjednako pozitivno korelisane sa Li i negativno sa Sr. U Beogradu dve glavne komponente zajedno objašnjavaju 87,71 % varijabilnosti. Prva komponenta (63,05 %) ima visoke pozitivne vrednosti koeficijenta korelacije sa Al, B, Fe, Li, Mn, i negativne sa Cu, Pb i Zn. Druga glavna komponenta objašnjava 24,66 % varijabilnosti i pokazuje značajnu pozitivnu korelaciju sa Cr, Ni i Sr. Analizom uzoraka sa kontrolnog lokaliteta izdvojile su se tri glavne komponente koje zajedno objašnjavaju 94,18 % varijabilnosti. Prva komponenta objašnjava 62,02 % varijabilnosti i pokazuje značajnu pozitivnu korelaciju sa Al, B, Fe, Mn, i značajnu negativnu sa Cu i Sr. Druga komponenta objašnjava 22,64 % varijabilnosti i značajno je korelisana sa Cr i Li, i značajno negativno sa Zn. Treća komponenta objašnjava 9,52 % varijabilnosti i ona je značajno pozitivno korelisana sa Ni i značajno negativno sa Pb.

Tabela 10. Matrica glavnih komponenti (Varimax rotirana) sa vrednostima faktorskih opterećenja

	Pančevo		Smederevo		Obrenovac		Beograd		Kontrola		
	PC 1	PC 2	PC 1	PC 2	PC 1	PC 2	PC 1	PC 2	PC 1	PC 2	PC 3
Al	0,963	0,223	0,901	0,410	0,897	0,422	0,948	0,290	0,846	0,290	0,425
B	0,966	0,233	0,925	0,349	0,591	0,799	0,913	- 0,258	0,823	0,356	0,412
Cr	0,901	0,326	0,384	0,919	0,673	0,514	0,280	0,537	0,286	0,782	0,449
Cu	0,919	0,378	- 0,945	0,263	0,963	0,184	- 0,830	- 0,531	- 0,770	0,423	0,434
Fe	0,965	0,229	0,929	- 0,323	0,092	0,985	0,959	0,192	0,874	0,359	0,283
Li	0,950	0,094	0,813	0,211	0,500	0,516	0,754	0,099	0,176	0,930	0,020
Mn	0,923	0,371	- 0,066	- 0,995	0,161	0,978	0,989	0,008	0,900	0,348	0,225
Ni	0,558	0,812	- 0,005	0,999	0,899	0,408	- 0,061	0,993	0,066	0,379	0,876
Pb	0,904	0,413	0,915	0,371	0,985	0,170	0,952	0,281	- 0,163	- 0,032	- 0,916
Sr	0,975	0,210	0,842	0,425	- 0,622	- 0,748	- 0,108	0,974	- 0,963	- 0,157	- 0,116
Zn	- 0,090	- 0,985	- 0,184	- 0,980	0,979	0,161	- 0,979	- 0,145	- 0,533	- 0,715	- 0,397
<i>Eigen-</i> <i>vrednost</i>	9,444	1,241	6,930	3,503	8,192	1,840	6,936	2,713	6,822	2,490	1,047
% varijabilnosti	85,86	11,28	62,98	31,84	74,47	16,73	63,05	24,66	62,02	22,64	9,52



Slika 7. Analiza glavnih komponenti (PCA) primenjena na rezultate sadržaja elemenata u zemljištu. Grafik rotiranih faktora opterećenja u prostoru.

5.1.5. Frakcionisanje potencijalno toksičnih elemenata u zemljištu metodom optimizovane BCR sekvencionalne ekstrakcije

Rezultati raspodele elemenata po fazama prikazani su u Tabelama 11 - 14 i na Slikama 8 - 10. Uzorci zemljišta na kojima raste mleč (*A. platanoides*) označeni su brojem 1 (Pančevo 1, Smederevo 1, Obrenovac 1, Beograd 1 i Kontrola 1), uzorci ispod javora (*A. pseudoplatanus*) brojem 2 i uzorci zemljišta ispod breze (*B. pendula*) brojem 3.

Koncentracija As, Cd i Se u ispitivanim uzorcima zemljišta je bila ispod nivoa detekcije aparata.

Posmatrajući frakcioni profil Al, uočljivo je da se najveća količina Al ekstrahovala u rezidualnoj frakciji (82,3 - 87,4 %), a znatno manji deo u reducibilnoj (6,9 - 11,2 %) i oksidabilnoj (5,6 - 8,3 %) frakciji. Skoro zanemarljiv deo pripada izmenjivoj i kiselo rastvornoj frakciji (0,2 - 0,4 %).

Najviše ekstrahovanog B iz zemljišta dobijeno je u rezidualnoj frakciji (55,2 - 70,9 %). Značajan deo ovog elementa je takođe ekstrahovan u izmenjivoj i kiselo rastvornoj (10,9 - 23 %), zatim reducibilnoj (9,2 - 17,3 %) i oksidabilnoj (5,9 - 9,5 %) frakciji. Uzorci zemljišta iz Smedereva i Beograda imali su nešto niži procenat B u rezidualnoj frakciji u poređenju sa drugim mestima uzorkovanja, ali je zato njegov udeo u izmenjivoj i kiselo rastvornoj i reducibilnoj frakciji bio veći. Veći udeo B u izmenjivoj i kiselo rastvornoj frakciji u zemljištu Smedereva i Beograda čini ovaj element potencijalno dostupnim biljnim vrstama koje tu rastu.

Hrom se najvećim delom nalazio u rezidualnoj frakciji (68,0 - 84,1 %), dok je ostatak bio vezan za organsku materiju, sulfide, Fe i Mn okside i hidrokside. Sadržaj Cr u izmenjivoj i kiselo rastvornoj frakciji bio je veoma nizak i ispod nivoa detekcije aparata. Karakteristično za uzorke zemljišta iz Beograda i kontrole je nizak i relativno ujednačen sadržaj Cr u odnosu na zemljište sa drugih lokaliteta kao i njegovo vezivanje pretežno za rezidualnu i oksidabilnu fazu. Za uzorke iz Smedereva je bilo karakteristično da se Cr uglavnom nalazio u rezidualnoj frakciji (~ 69 %), ali i da je značajan njegov deo bio prisutan u reducibilnoj (~ 16 %) i oksidabilnoj (~ 14 %) frakciji.

Najveće količine Cu nalazile su se u rezidualnoj (43,4 - 73,3 %), a odmah zatim i u oksidabilnoj frakciji (13,2 - 30,6 %). Reducibilana, odnosno frakcija elemenata

vezanih za okside Fe i Mn (7,2 - 25,2 %), takođe je uzimala značajan udeo u frakcionom profilu Cu, i na pojedinim mestima bila je jednaka udelu oksidabilne frakcije. Najmanje Cu je bilo ekstrahovano u izmenjivoj i kiselo rastvornoj frakciji i generalno gledajući njegov sadržaj je kontinualno rastao tokom ekstrakcije. Slično kao kod B, tokom frakcionisanja Cu primećeno je da uzorci zemljišta iz Smedereva i Beograda imaju nešto drugačiju raspodelu između faza u odnosu na druga mesta uzorkovanja. Naime, procenat Cu ekstrahovanog u prve tri faze bio je skoro jednak količini Cu nađenog u rezidualnoj fazi, što ovaj element čini potencijalno mobilnim i dostupnim.

Rezultati frakcionisanja pokazali su da je približno 90 % Fe pripadalo rezidualnoj frakciji, dok je ostatak uglavnom bio raspoređen između organske materije i sulfida (~ 4,9 %) i Fe i Mn oksida (~ 4,4 %). Veoma mala količina Fe bila je ekstrahovana u izmenjivoj i kiselo rastvornoj frakciji (0,02 %). U ovoj formi Fe je nerastvorno i slabo pokretljivo. Za uzorke zemljišta iz Smedereva i zemljišta gde raste javor u Beogradu (B2) je karakterističan nešto veći udeo Fe u reducibilnoj frakciji.

Litijum je još jedan element koji se u ispitivanim uzorcima zemljišta nalazio čvrsto vezan za kristalne strukture minerala (78,4 - 91,8 %). Preostala količina Li bila je vezana za organsku materiju i sulfide (3,8 - 7,9 %) ili za Fe i Mn okside i hidrokside (3,2 - 10,0 %). Količina Li u izmenjivoj i kiselo rastvornoj frakciji veoma je mala i na pojedinim mestima ispod nivoa detekcije aparata, jedino je u uzorcima zemljišta iz Smedereva (S1, S2), Obrenovca (O3) i Beograda (B1, B2) uočen nešto veći udeo Li u ovoj frakciji (1,6 - 4,7 %).

Najviše ekstrahovanog Mn iz zemljišta se nalazilo u reducibilnoj frakciji (38,0 - 70,7 %). Značajan deo ovog elementa se takođe nalazio u izmenjivoj i kiselo rastvornoj (9,7 - 37,9 %) i rezidualnoj (14,5 - 23,0 %) frakciji, što ukazuje na njegovu slabu povezanost sa organskom materijom i sulfidima (3,7 - 5,1 %).

Najviše ekstrahovanog Ni iz zemljišta u Pančevu (P1, P2) i Smederevu je bilo u reducibilnoj frakciji (40,8 - 53,5 %), dok je ostatak bio raspoređen između rezidualne (27,7 - 40,2 %), oksidabilne (9,4 - 15,5 %) i izmenjive i kiselo rastvorne (4,3 - 9,4 %) frakcije. U uzorcima supstrata sa ostalih lokaliteta, najveći deo Ni bio je čvrsto vezan za silikate i kristalne strukture minerala (42 - 62 %), dok je preostali deo bio asociran sa Fe i Mn oksidima (19,3 - 30,8 %) i organskom materijom i sulfidima (13,9 - 19,8 %).

U uzorcima zemljišta iz Pančeva, Pb je uglavnom bio raspoređen između rezidualne (38,2 - 57,4 %) i reducibilne (23,7 - 37,5 %) frakcije, dok je u uzorcima sa svih ostalih lokaliteta najviše Pb vezano za Fe i Mn okside (reducibilna frakcija). Ostatak Pb na svim lokalitetima se nalazio raspoređen između izmenjive i kiselo rastvorne (0 - 14 %) i oksidabilne (9,3 - 17,9 %) frakcije.

Posmatrajući frakcioni profil Sr, uočljivo je da je najveća količina Sr ekstrahovana tokom prve faze ekstrakcije (33,7 - 86,4 %), što ukazuje na njegovu veliku mobilnost. Znatno deo Sr nalazio se u reducibilnoj (11,0 - 36,2 %) i u rezidualnoj (58,2 - 40,0 %) frakciji, dok je najmanje Sr bilo vezano za organsku materiju i sulfide (0,5 - 3,8 %).

Cink je iz uzoraka zemljišta iz Pančeva, Obrenovca i kontrole uglavnom ekstrahovan u rezidualnoj (45,1 - 70,8 %), a zatim u reducibilnoj (21,3 - 33,1 %) frakciji, dok je znatno manji deo bio raspoređen između oksidabilne (6,0 - 14,8 %) i izmenjive i kiselo rastvorne (1,9 - 7,1 %) frakcije. U uzorcima iz Smedereva i Beograda, jedan deo Zn je bio vezan za Fe i Mn okside (41,1 - 54,7 %), dok je ostatak raspoređen između rezidualne (13,4 - 41,3 %) i izmenjive i kiselo rastvorne (4,3 - 29,4 %) frakcije.

Tabela 11. Koncentracije potencijalno toksičnih elemenata u I fazi modifikovane BCR ekstrakcije u uzorcima zemljišta iz Pančeva, Smedereva, Obrenovca, Beograda i kontrolnog lokaliteta

I faza	Al (mg/kg)	B (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Li (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Sr (mg/kg)	Zn (mg/kg)
Pančevo 1	25,606	10,926		1,015	7,993	1,208	77,270	2,810	1,436	24,365	0,883
Pančevo 2	26,616	12,330		0,829	5,281	0,679	141,000	3,428	5,651	14,062	0,770
Pančevo 3	25,078	9,832		1,584	4,265		101,090	2,327		6,555	0,934
Smederevo 1	23,248	15,172	0,654	3,824	18,170	6,539	214,560	6,255	6,489	39,420	51,015
Smederevo 2	52,495	11,057		1,592	5,581	2,386	148,130	6,949	11,951	48,148	24,010
Smederevo 3	35,880	13,771		1,589	8,304	0,906	163,440	14,463	8,320	33,539	25,971
Obrenovac 1	29,422	11,898		1,167	10,447	0,992	131,400	5,961	3,469	19,259	4,662
Obrenovac 2	26,333	9,581		1,009	3,257	0,249	86,870	4,540	7,272	13,342	1,333
Obrenovac 3	31,683	8,192		1,326	3,629	4,799	99,230	3,582	0,320	111,954	0,881
Beograd 1	23,310	10,567		1,246	5,282	4,232	82,270	2,121	1,799	132,009	2,912
Beograd 2	29,533	12,034		1,604	3,217	3,137	137,680	2,963	7,527	117,707	49,873
Beograd 3	23,273	17,294		1,271	3,534	0,261	111,700	1,878	1,907	36,943	19,415
Kontrola 1	25,596	9,428		0,996	2,205		114,850	2,363	5,086	8,592	1,283
Kontrola 2	27,433	10,440		2,097	14,586	1,199	74,320	3,063	0,000	33,428	2,182
Kontrola 3	31,217	11,907		2,033	9,248	1,049	140,570	2,466	1,655	9,358	2,811

Tabela 12. Koncentracije potencijalno toksičnih elemenata u II fazi modifikovane BCR ekstrakcije u uzorcima zemljišta iz Pančeva, Smedereva, Obrenovca, Beograda i kontrolnog lokaliteta

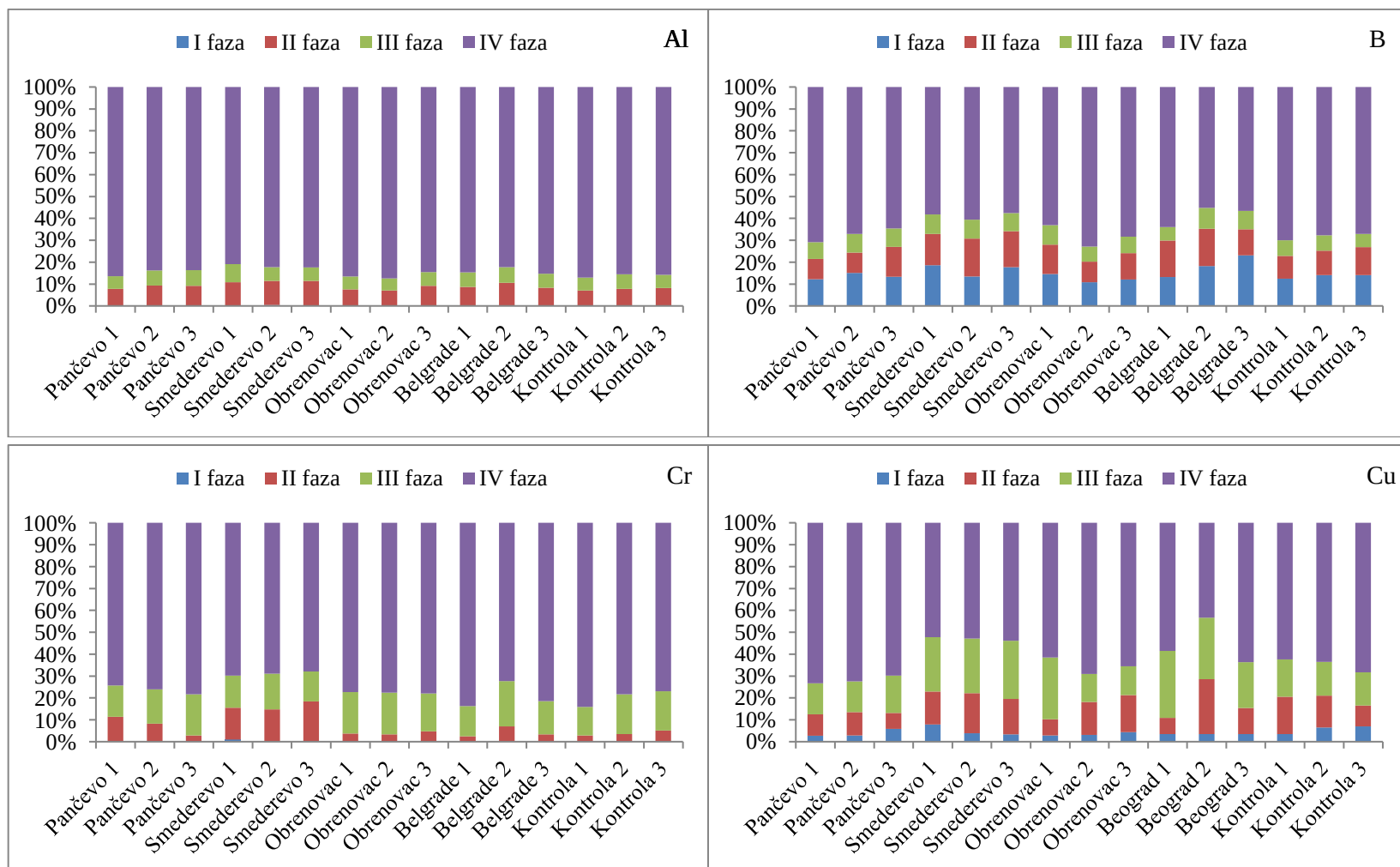
II faza	Al (mg/kg)	B (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Li (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Sr (mg/kg)	Zn (mg/kg)
Pančevo 1	1796,173	8,217	6,652	3,626	1122,938	5,688	440,620	33,430	11,211	10,589	10,093
Pančevo 2	1503,043	7,674	4,738	3,051	895,405	6,503	317,490	41,741	15,906	8,749	9,924
Pančevo 3	1263,883	10,048	0,594	1,943	851,172	5,461	298,910	8,589	13,434	6,982	7,931
Smederevo 1	1353,843	11,684	9,159	7,228	2408,578	12,405	224,960	39,996	21,367	16,407	88,319
Smederevo 2	1444,833	14,193	13,907	7,661	2740,478	14,110	231,620	48,389	59,361	10,798	59,443
Smederevo 3	1344,053	12,642	19,768	7,541	1846,758	12,402	178,470	82,686	51,347	12,818	47,055
Obrenovac 1	1394,903	10,948	2,029	3,046	1491,058	8,612	361,520	28,281	27,081	9,138	21,662
Obrenovac 2	1327,753	8,250	1,860	4,933	1408,148	6,671	633,750	24,012	19,226	6,100	10,262
Obrenovac 3	899,110	8,250	1,734	5,215	1312,428	9,605	331,230	16,410	23,727	11,481	12,280
Beograd 1	1012,073	13,391	0,632	2,703	569,626	5,150	268,960	9,290	24,435	14,701	27,729
Beograd 2	974,776	11,265	1,816	11,735	1591,388	8,972	156,040	9,416	115,376	15,655	115,540
Beograd 3	1049,643	8,978	0,856	4,312	767,821	5,007	210,870	8,417	26,964	10,868	49,446
Kontrola 1	1180,563	7,901	1,023	4,876	1161,338	7,538	348,450	10,958	26,854	6,017	8,662
Kontrola 2	1208,563	8,284	1,142	4,688	1249,188	8,194	294,600	9,532	44,332	7,896	13,795
Kontrola 3	1398,223	10,932	1,590	2,815	1097,238	4,981	323,930	8,651	18,294	6,335	13,952

Tabela 13. Koncentracije potencijalno toksičnih elemenata u III fazi modifikovane BCR ekstrakcije u uzorcima zemljišta iz Pančeva, Smedereva, Obrenovca, Beograda i kontrolnog lokaliteta

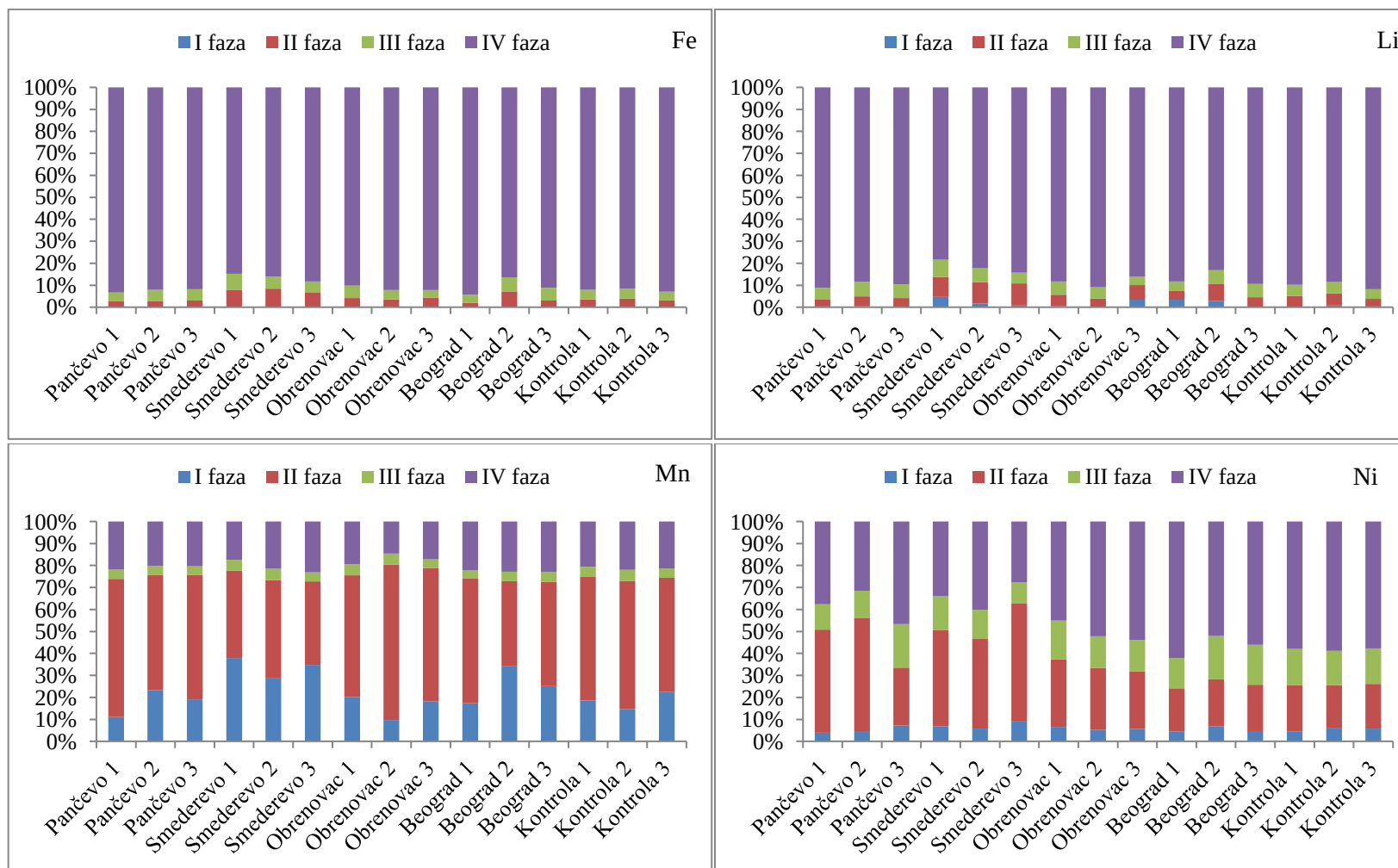
III faza	Al (mg/kg)	B (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Li (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Sr (mg/kg)	Zn (mg/kg)
Pančevo 1	1336,699	6,849	8,403	5,245	1672,408	10,617	30,750	8,207	7,459	1,109	2,865
Pančevo 2	1149,109	6,992	9,094	4,041	1744,128	9,767	25,400	9,937	7,089	0,834	2,709
Pančevo 3	994,939	6,086	3,970	4,615	1470,528	8,033	21,550	6,435	6,409	0,650	3,061
Smederevo 1	1047,469	7,292	9,267	11,985	2230,438	10,928	27,270	14,174	8,105	1,021	8,447
Smederevo 2	825,744	7,089	15,257	10,435	1799,698	9,301	26,440	15,682	9,987	1,468	22,949
Smederevo 3	731,957	6,459	14,552	12,407	1319,928	6,055	19,940	14,568	9,471	2,198	8,382
Obrenovac 1	1105,779	7,313	10,381	11,617	1999,728	10,172	32,080	16,200	9,041	1,223	9,664
Obrenovac 2	1075,699	6,068	10,388	4,213	1743,938	9,176	45,450	12,326	6,729	0,763	2,692
Obrenovac 3	638,934	5,090	6,360	4,049	1068,168	5,364	22,160	8,956	5,197	0,696	3,941
Beograd 1	777,165	4,960	3,490	11,126	1046,108	5,235	17,610	6,598	7,407	1,166	8,952
Beograd 2	686,118	6,269	5,343	13,048	1411,748	6,920	17,280	8,622	19,647	1,889	17,426
Beograd 3	816,283	6,315	3,774	7,613	1454,958	7,014	19,720	7,279	9,343	0,994	7,848
Kontrola 1	1001,939	5,410	4,735	4,894	1479,148	7,770	28,110	8,505	5,338	0,686	3,348
Kontrola 2	1056,269	5,195	5,949	4,963	1443,148	7,838	25,310	7,708	9,274	0,751	4,325
Kontrola 3	1047,629	5,008	5,521	4,426	1364,518	6,948	26,670	6,908	6,220	0,708	4,216

Tabela 14. Koncentracije potencijalno toksičnih elemenata u IV fazi modifikovane BCR ekstrakcije u uzorcima zemljišta iz Pančeva, Smedereva, Obrenovca, Beograda i kontrolnog lokaliteta

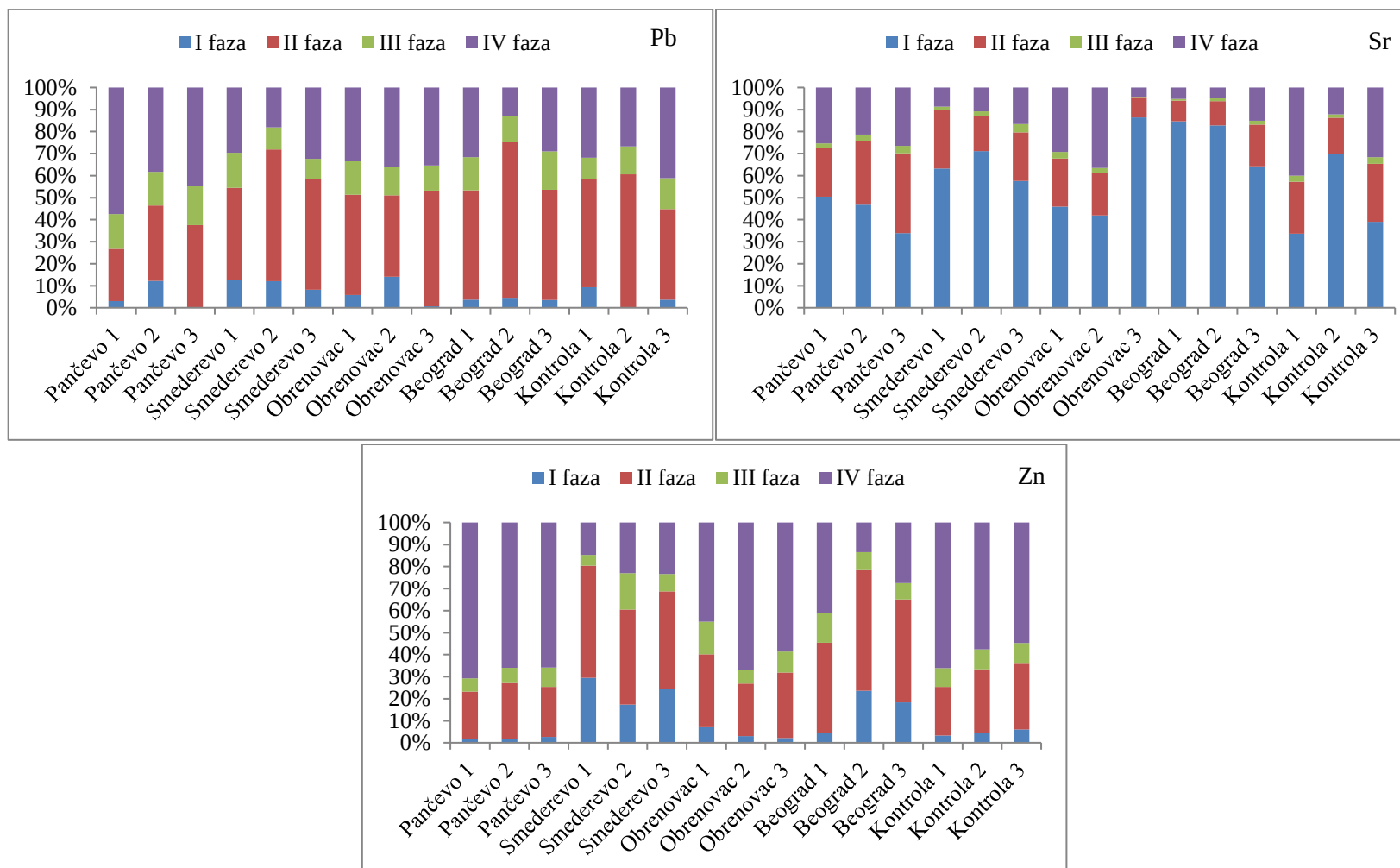
IV faza	Al (mg/kg)	B (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Li (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Sr (mg/kg)	Zn (mg/kg)
Pančevo 1	20100,798	63,247	43,436	27,181	39198,068	181,734	152,640	26,791	27,102	12,243	33,516
Pančevo 2	13821,198	55,098	43,956	20,811	30716,968	130,170	122,300	25,298	17,735	6,420	26,009
Pančevo 3	11672,498	47,519	16,520	18,798	26201,968	115,938	107,580	15,171	15,989	5,120	23,017
Smederevo 1	10260,198	47,600	44,132	25,252	25876,668	108,741	99,050	31,121	15,167	5,432	25,446
Smederevo 2	10801,298	49,669	64,711	22,093	28156,868	120,078	111,240	47,719	17,901	7,322	31,650
Smederevo 3	9887,808	44,617	72,833	25,188	24076,968	104,048	108,350	42,796	33,130	9,682	24,799
Obrenovac 1	16213,898	51,550	42,344	25,347	32107,968	150,037	127,220	41,264	19,901	12,265	29,522
Obrenovac 2	16882,798	64,165	42,465	22,596	37129,868	161,657	130,160	44,545	18,644	11,593	28,829
Obrenovac 3	8568,718	46,610	28,563	20,117	28037,868	122,851	93,850	33,980	16,001	5,416	24,158
Beograd 1	10043,898	51,340	21,186	21,230	26890,268	110,127	105,370	29,426	15,541	8,136	27,866
Beograd 2	7829,928	36,404	18,712	20,230	19060,568	94,404	92,040	22,810	20,931	6,919	28,292
Beograd 3	10992,098	42,418	20,430	23,179	23143,568	103,802	102,290	22,486	15,620	8,659	29,047
Kontrola 1	14797,998	53,132	30,435	17,845	30598,268	134,051	127,850	30,140	17,474	10,213	25,969
Kontrola 2	13630,898	50,311	25,705	20,503	29492,868	132,886	111,340	29,058	19,540	5,840	27,546
Kontrola 3	15022,098	56,966	23,780	20,014	32804,068	144,506	133,650	24,575	18,317	7,605	25,287



Slika 8. Raspodela Al, B, Cr i Cu po fazama sekvencijalne ekstrakcije (I, II, III, i IV faza) u uzorcima zemljišta iz Pančeva, Smedereva, Obrenovca, Beograda i kontrolnog lokaliteta.



Slika 9. Raspodela Fe, Li, Mn i Ni po fazama sekvencijalne ekstrakcije (I, II, III, i IV faza) u uzorcima zemljišta iz Pančeva, Smedereva, Obrenovca, Beograda i kontrolnog lokaliteta.

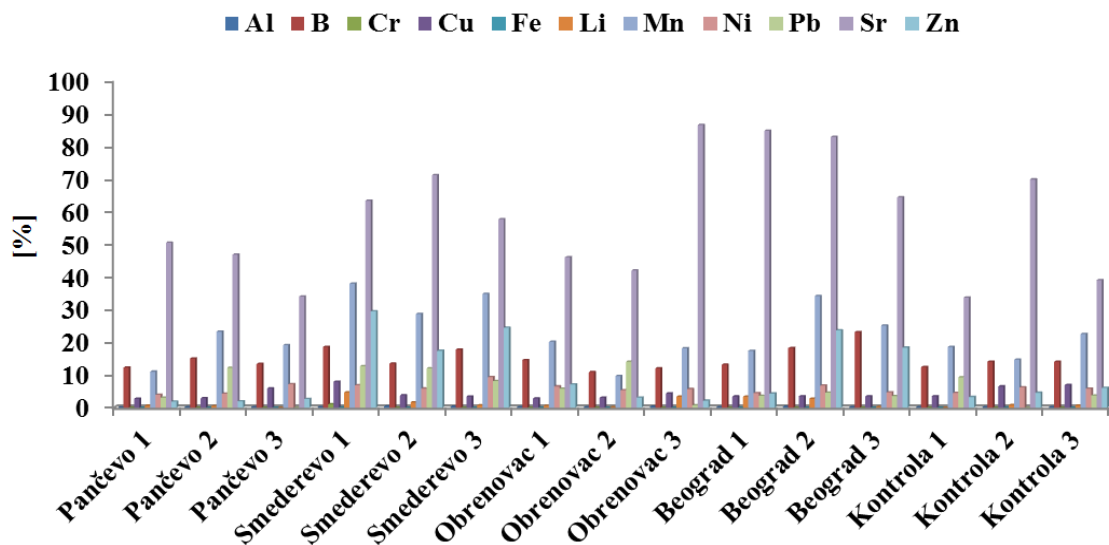


Slika 10. Raspodela Pb, Sr i Zn po fazama sekvencijalne ekstrakcije (I, II, III, i IV faza) u uzorcima zemljišta iz Pančeva, Smedereva, Obrenovca, Beograda i kontrolnog lokaliteta.

5.1.5.1. Faktor mobilnosti (MF) potencijalno toksičnih elemenata u ispitivanim zemljištima

Mobilnost i dostupnost metala zavisi od oblika u kom su prisutni u zemljištu i asocijacije sa različitim fazama zemljišta (Mahanta & Bhattacharyya 2011; Osakwe 2013). Smatra se da elementi ekstrahovani u prvoj fazi sekvencijalne ekstrakcije imaju najveću pokretljivost i dostupni su biljkama za usvajanje, metali ekstrahovani u reducibilnoj i oksidabilnoj frakciji su relativno stabilni i pod određenim uslovima mogu postati dostupni biljkama, dok metali prisutni u rezidualnoj frakciji su čvrsto vezani za kristalne strukture minerala i uglavnom nisu dostupni biljkama za usvajanje. Visoka vrednost MF ukazuje na relativno visoku pokretljivost i biodostupnost potencijalno toksičnih elemenata, dok niska vrednost MF reflektuje njihovu visoku stabilnost u zemljištu (Kabala & Singh 2001; Olajire et al. 2002; Lu et al. 2007). Rezultati za faktor mobilnosti (MF) ispitivanih hemijskih elemenata dobijeni primenom modifikovane BCR sekvencijalne ekstrakcije zemljišta prikazani su na Slici 11.

Najmanju pokretljivost u ispitivanom zemljištu imaju Fe (0,01 - 0,06 %), Al (0,11 - 0,40 %) i Cr čiji je sadržaj u I fazi sekvencijalne ekstrakcije ispod detekcionog limita aparata. Ovi elementi nisu dostupni biljkama za usvajanje. Drugu grupu sačinjavaju elementi čiji je faktor mobilnosti 10 % ili manji, a to su: Li (0 - 4,72 %), Cu (2,74 - 6,94 %) i Ni (3,94 - 9,36 %) i za njih se može reći da su slabo mobilni i veoma stabilni u ispitivanim uzorcima zemljišta. Olovo takođe pripada ovoj grupi, međutim u Pančevu (P2), Smederevu (S1, S2) i Obrenovcu (O2) njegov faktor mobilnosti je veći od 10 %, što ga čini potencijalno dostupnim biljkama koje rastu na ovim zemljištima. Elementi koji se mogu svrstati u grupu srednje mobilnih su: Zn (1,87 - 29,45 %) i B (10,88 - 23,06 %), dok grupu veoma mobilnih čine Mn (9,69 - 37,92 %) i Sr (33,68 - 86,42 %). Ako posmatramo prosečan faktor mobilnosti za ispitivani lokalitet, može se videti da je najviše Sr, Mn, B i Zn potencijalno dostupno biljkama iz Smedereva i Beograda.



Slika 11. Faktor mobilnosti ispitivanih hemijskih elemenata dobijen primenom modifikovane BCR sekvencijalne ekstrakcije na uzorke zemljišta iz Pančeva, Smedereva, Obrenovca, Beograda i kontrolnog lokaliteta

5.2. Sadržaj potencijalno toksičnih elemenata u listovima i kori ispitivanih biljaka

5.2.1. Sadržaj potencijalno toksičnih elemenata u listovima ispitivanih biljaka

Razlike u sadržaju hemijskih elemenata (Al, B, Cu, Fe, Mn, Sr, Zn) u listovima ispitivanih vrsta analizirane su na osnovu njihove prostorne i vremenske dinamike (Tabele: 16, 18, 20, 22, 24, 26 i 28) u Pančevu, Smederevu, Obrenovcu, Beogradu i kontrolnim lokalitetima. Razlike između vrsta na svakom lokalitetu, prikazane su u Tabelama 17, 19, 21, 23, 25, 27 i 29. Na osnovu trofaktorske analize varijanse (factorial ANOVA) uočeno je da na razlike značajno utiču sva tri faktora varijabilnosti (lokalitet, vrsta, sezona), ali da lokalitet ima dominantan uticaj na sadržaj Al, B, Mn i Sr, vrsta na sadržaj Cu i Zn i sezona na sadržaj Fe (Tabela 15).

Sadržaj As, Cd, Li i Se u listovima ispitivanih biljaka je bio ispod granice detekcije aparata, dok je sadržaj Cr, Ni i Pb izmeren u pojedinim sezonskim presecima što podrazumeva da nisu podvrgnuti statističkoj evaluaciji a rezultati su prikazani kao srednje vrednosti i standardne devijacije u Tabeli 30.

Tabela 15. Uticaj faktora varijabilnosti (lokalitet, sezona i vrsta) na razlike u sadržaju hemijskih elemenata u listovima ispitivanih biljaka

		Lokalitet	Sezona	Vrsta	Lokalitet* Sezona	Lokalitet *Vrsta	Sezona* Vrsta	Lokalitet *Sezona* Vrsta
Al	F	8105	6966,2	2949,2	1404,6	5509,7	3956,5	2007,7
	p	***	***	***	***	***	***	***
B	F	10926	19442	2347,1	1235	4536,3	572,1	304,7
	p	***	***	***	***	***	***	***
Cu	F	1439,3	143,6	3884,9	49,7	1233,7	238,5	94,8
	p	***	***	***	***	***	***	***
Fe	F	17843	25537	19841	2610	21795	4397	1336
	p	***	***	***	***	***	***	***
Mn	F	95983	34512	93876	6404	90696	6389	7595
	p	***	***	***	***	***	***	***
Sr	F	64604	3328	51629	1230	30591	2542	447
	p	***	***	***	***	***	***	***
Zn	F	78194,5	9278,5	104592,7	2345,3	63913,4	2577,7	2277,4
	p	***	***	***	***	***	***	***

ANOVA, ***p<0,001

Sadržaj aluminijuma (Al) u listovima ispitivanih biljaka

Količina Al u listovima mleča kretala se u intervalu od 68,351 mg/kg u Obrenovcu do 216,167 mg/kg u Pančevu. Listovi mleča nisu pokazali sezonsku pravilnost u količini akumuliranog Al. Minimalan sadržaj Al je u listovima mleča iz Smedereva i Obrenovca izmeren u junu, odnosno u avgustu u Beogradu i na kontroli. Jedino su listovi mleča iz Pančeva pokazali suprotan trend i kod njih su minimalne koncentracije bile izmerene u oktobru. Maksimalne količine Al mleč je usvajao u oktobru, osim u Pančevu gde su maksimalne vrednosti dostignute u junu i avgustu. U listovima mleča tokom cele sezone utvrđene su značajne razlike u količini Al između ispitivanih lokaliteta i kontrole ($p < 0,001$), sa izuzetkom u Beogradu tokom juna i u Smederevu tokom oktobra gde nije bilo značajnih razlika u odnosu na kontrolni lokalitet (ns).

Tokom sezone, sadržaj Al u listovima javora je varirao od 83,324 mg/kg u Obrenovcu do 391,394 mg/kg u Beogradu. Za razliku od mleča, kod javora je uočljiva sezonska pravilnost u usvajanju Al. Najniže vrednosti na svakom od ispitivanih lokaliteta su izmerene u junu, a najviše na kraju vegetacijske sezone. Izuzetak je zabeležen kod javora iz Beograda, gde su najniže koncentracije izmerene tokom avgusta. Slično kao u listovima mleča, sadržaj Al u listovima javora se značajno razlikovao između ispitivanih lokaliteta i kontrole ($p < 0,01$, $p < 0,001$), osim tokom juna u Pančevu i Smederevu i tokom avgusta u Smederevu, kada značajne razlike nisu uočene (ns).

Sadržaj Al u listovima breze je tokom vegetacijske sezone varirao i kretao se u intervalu od 73,391 mg/kg na kontroli do 333,788 mg/kg u Obrenovcu. Za razliku od javora, kod breze je uočljivo odsustvo bilo kakve sezonske pravilnosti u akumulaciji Al. Minimalne koncentracije u Smederevu, Beogradu i kontroli su izmerene tokom juna, u Pančevu tokom oktobra i u Obrenovcu tokom avgusta. Listovi breze iz Pančeva i Obrenovca imali su maksimalan sadržaj Al tokom juna, odnosno tokom oktobra u Beogradu i kontroli i tokom avgusta u Smederevu. Kao i druge dve vrste, i breza na svakom od ispitivanih lokaliteta pokazuje značajnu razliku u sadržaju Al u odnosu na kontrolu ($p < 0,01$, $p < 0,001$), osim tokom avgusta u Obrenovcu (ns).

Upoređujući sadržaj Al u listovima ispitivanih vrsta, uočava se razlika između vrsta. Jedino su listovi mleča iz Smedereva tokom juna imali sličan sadržaj Al kao javor

i breza (ns) i listovi mleča sa kontrolnog lokaliteta tokom avgusta su imali sličan sadržaj Al kao breza (ns). Nije moguće izdvojiti jednu vrstu kao potencijalno dobar ili loš akumulator Al. Generalno, javor se na većini lokaliteta izdvaja po višem sadržaju Al u odnosu na druge dve vrste.

Kada je reč o lokalitetima primećeno je da su u najvećem broju slučajeva uzorci iz Parka pored hale Pionir u Beogradu i uzorci iz Pančeva imali najviši sadržaj akumuliranog Al u odnosu na ostale lokalitete, posebno u drugom delu vegetacijske sezone.

Sadržaj bora (B) u listovima ispitivanih biljaka

Sadržaj B u listovima mleča se tokom vegetacijske sezone kretao u intervalu od 26,852 mg/kg u Smederevu do 195,424 mg/kg u Beogradu. Iz prikazanih rezultata jasno je da listove mleča odlikuje jasna sezonska akumulacija. Najmanji sadržaj B mleč je imao u junu, dok su najveće koncentracije izmerene u drugom delu sezone (avgust i oktobar). U listovima mleča, tokom cele sezone uočene su jasne razlike u količini B između ispitivanih lokaliteta i kontrole ($p < 0,001$), sa izuzetkom uzoraka iz Obrenovca tokom juna gde nije bilo značajnih razlika u odnosu na iste sa kontrolnog lokaliteta (ns).

Sadržaj B u listovima javora kretao se u širokom intervalu vrednosti od 27,005 mg/kg u Obrenovcu do čak 217,605 u Smederevu. Kao i u slučaju mleča, listove javora odlikuje jasna sezonska pravilnost u akumulaciji B. U listovima javora, tokom cele sezone uočene su jasne razlike u količini B između ispitivanih lokaliteta i kontrole ($p < 0,001$), sa izuzetkom u Obrenovcu tokom juna, gde nije bilo značajnih razlika u odnosu na kontrolni lokalitet (ns).

Slično javoru, i kod breze je koncentracija B varirala u širokom intervalu vrednosti od 30,965 mg/kg u Obrenovcu do 276,883 mg/kg u Beogradu. Brezu je takođe odlikovala jasna sezonska pravilnost u akumulaciji B, sa minimalnim koncentracijama u junu i maksimalnim u oktobru. U listovima javora tokom cele sezone uočene su jasne razlike u količini B između ispitivanih lokaliteta i kontrole ($p < 0,001$).

Upoređujući sadržaj B u listovima ispitivanih vrsta, konstantovano je da postoji razlika između vrsta, osim tokom juna u Obrenovcu gde su sve vrste imale sličan sadržaj B, na kontroli gde mleč i javor imaju sličan sadržaj B (ns), tokom avgusta na

kontrolnom lokalitetu i tokom oktobra u Pančevu gde su mleč i javor imali sličan sadržaj B (ns). Nije moguće izdvojiti jednu vrstu kao potencijalno dobar ili loš akumulator B. Međutim u najvećem broju slučajeva javor je usvajao najviše B, osim u Beogradu gde je to bila breza.

Park kod hale Pionir u Beogradu se karakteriše veoma visokim koncentracijama B u listovima breze i mleča tokom cele vegetacijske sezone. Smederevo se takođe u drugom delu sezone karakterisalo povišenim sadržajem B u listovima javora i mleča.

Sadržaj bakra (Cu) u listovima ispitivanih biljaka

Tokom sezone, sadržaj Cu u listovima mleča se kretao u uskom opsegu vrednosti od 4,552 mg/kg u Obrenovcu do 9,042 mg/kg takođe u Obrenovcu, a utvrđena je određena sezonska pravilnost. Naime, na svim lokalitetima minimalan sadržaj Cu je izmeren na kraju vegetacijske sezone, a najviši u piku vegetacijske sezone, kada su listovi u potpunosti razvijeni i njihova funkcija uspostavljena, odnosno tokom juna u Obrenovcu i Beogradu. Tokom cele sezone listovi mleča na ispitivanim lokalitetima su imali sličan sadržaj Cu kao mleč sa kontrole, Izuzetak je zabeležen tokom juna u Obrenovcu i Beogradu, tokom avgusta u Smederevu i Obrenovcu i tokom oktobra u Smederevu gde su se značajno razlikovale u odnosu na kontrolni lokalitet ($p < 0,001$; $p < 0,01$).

Veća varijabilnost u količini usvojenog Cu je uočena u listovima javora u odnosu na druge dve vrste i kretala se od 3,460 mg/kg u Smederevu do 17,374 mg/kg u Beogradu. Listovi javora su takođe pokazali određenu pravilnost u usvajanju Cu tokom sezone, naime najniže koncentracije Cu su izmerene, slično kao kod mleča, tokom oktobra u Pančevu, Smederevu i na kontroli, odnosno tokom juna u Obrenovcu i Beogradu. Maksimalne koncentracije su izmerene tokom avgusta u Pančevu, Smederevu i na kontroli, odnosno tokom oktobra u uzorcima iz Obrenovca i Beograda. Tokom cele sezone, javor na svakom od ispitivanih lokaliteta pokazuje značajnu razliku u akumulaciji Cu u odnosu na kontrolu ($p < 0,001$).

Najmanju varijabilnost u usvajanju Cu tokom sezone su pokazali listovi breze. Količina akumuliranog Cu je bila u veoma uskom opsegu od 3,631 mg/kg u Pančevu do 5,867 mg/kg u Beogradu. Međutim, za razliku od druge dve vrste, breza je pokazala drugačije ponašanje tokom sezone. Naime, nema pravilnosti u dostizanju minimalnih

koncentracija, dok su maksimalne koncentracije izmerene u junu, osim u Smederevu gde je maksimum dostignut u oktobru. Slično kao kod mleča, u listovima breze nije bilo značajnih razlika u sadržaju Cu između ispitivanih lokaliteta i kontrole (ns), osim tokom juna u Smederevu ($p < 0,001$) i tokom avgusta u Smederevu i Obrenovcu ($p < 0,01$).

Upoređujući sadržaj Cu u listovima ispitivanih vrsta, može se konstatovati da generalno breza najslabije usvaja Cu, a da se u zavisnosti od lokaliteta mleč i javor smenjuju u usvajanja ovog elementa.

Poredeći lokalitete primećeno je da su u najvećem broju slučajeva uzorci iz parka pored hale Pionir u Beogradu i uzorci iz Smedereva imali najviši sadržaj akumuliranog Cu u odnosu na ostale lokalitete, posebno u drugom delu vegetacijske sezone.

Sadržaj gvožđa (Fe) u listovima ispitivanih biljaka

Sadržaj Fe u listovima mleča je tokom vegetacijske sezone bio prilično neujednačen i kretao se u intervalu od 95,142 mg/kg u Obrenovcu do 310,913 mg/kg u Smederevu. Kod mleča je uočljiva pravilnost u usvajanju Fe tokom sezone. Najniže vrednosti na svakom od ispitivanih lokaliteta izmerene su u junu, a najviše na kraju vegetacijske sezone, u oktobru. Tokom cele sezone, sadržaj Fe u listovima mleča iz urbanih parkova značajno se razlikovao u odnosu na kontrolni lokalitet ($p < 0,001$), sa izuzetkom uzoraka mleča iz Obrenovca u avgustu kada istovremeno nije bilo razlike u količini akumuliranog Fe u odnosu na kontrolu (ns).

Javor je slično kao i mleč pokazao pravilnost u usvajanju Fe tokom sezone. Količina Fe se kretala od 106,786 mg/kg u Obrenovcu do 615,679 mg/kg u Beogradu. Maksimalne koncentracije su izmerene tokom oktobra, a minimalne tokom juna na svim ispitivanim lokalitetima, osim u Obrenovcu gde su maksimalne koncentracije izmerene tokom avgusta. Slično kao kod mleča, u listovima javora uočene su značajne razlike u sadržaju Fe između ispitivanih lokaliteta i kontrole ($p < 0,001$), osim tokom juna u Pančevu kada su bile slične kao na kontrolnom lokalitetu (ns).

U odnosu na druge dve ispitivane vrste, breza nije pokazala sezonsku pravilnost u usvajanju Fe. Naime, maksimalne vrednosti su u Pančevu i Obrenovcu dostignute u junu, u Smederevu i na kontroli u avgustu i u Beogradu u oktobru. Minimalne

koncentracije Fe u listovima su izmerene u avgustu u Pančevu i Obrenovcu i u junu na preostala tri lokaliteta. Tokom cele sezone listovi breze pokazuju značajnu razliku u sadržaju Fe u odnosu na kontrolni lokalitet ($p < 0,001$), osim u oktobru u Pančevu kada nije bilo značajne razlike u količini akumuliranog Fe u odnosu na kontrolu (ns).

Upoređujući sadržaj Fe u listovima ispitivanih vrsta tokom sezone konstatovano je da postoje razlike između vrsta. Generalno, breza se izdvaja po nižem sadržaju Fe u poređenju sa druge dve vrste, a mlač po višem. Izuzetak predstavlja javor u Beogradu.

Kada je reč o lokalitetima, park kod hale Pionir u Beogradu karakteriše veoma visok sadržaj Fe u listovima javora tokom cele vegetacijske sezone. Isto tako, za park u Smederevu je karakterističan visok sadržaj Fe u listovima mlača i breze u drugom delu sezone (tokom avgusta i oktobra). Tokom juna, Pančevo i Obrenovac su se odlikovali visokim sadržajem Fe u listovima mlača, odnosno breze.

Sadržaj mangana (Mn) u listovima ispitivanih biljaka

Sadržaj Mn u listovima mlača se tokom istraživanog perioda kretao u širokom opsegu vrednosti, od 21,018 mg/kg u Smederevu do 486,761 mg/kg u Beogradu. U junu je izmeren najmanji sadržaj Mn, izuzev u parku u Pančevu gde su minimalne koncentracije bile izmerene u avgustu. Primetno je da se veća akumulacija odvija u drugom delu sezone, odnosno u oktobru u Pančevu, Smederevu i kontrolnom lokalitetu, i u avgustu u Smederevu i Obrenovcu. Tokom cele sezone postoje značajne razlike u količini usvojenog Mn u listovima mlača u odnosu na kontrolni lokalitet ($p < 0,001$), osim u oktobru u Pančevu (ns).

Količina akumuliranog Mn u listovima javora se kretala od 15,917 mg/kg u Obrenovcu do 131,256 mg/kg u Pančevu. Javor je za razliku od mlača pokazao sezonsku pravilnost u usvajanju Mn. Naime, minimalne količine Mn su izmerene u junu, a maksimalne u avgustu. Izuzetak su individue iz Obrenovca kod kojih je maksimum dostignut u oktobru. Tokom cele sezone, uočena je razlika u sadržaju Mn u listovima javora na ispitivanim lokalitetima u odnosu na kontrolni lokalitet ($p < 0,001$), izuzetak su uzorci iz Beograda koji su tokom avgusta i oktobra imali sličan sadržaj kao uzorci sa kontrole (ns).

Količina Mn u listovima breze se kretala u opsegu od 15,443 mg/kg u Obrenovcu do 107,308 mg/kg u Pančevu. Breza pokazuje isti sezonski trend kao i javor. Minimalne koncentracije Mn su bile izmerene u junu, a maksimalne u avgustu, osim u Obrenovcu gde je maksimum bio u oktobru. Tokom cele sezone uočeno je da postoje značajne razlike u količini usvojenog Mn na ispitivanim lokalitetima u odnosu na kontrolu ($p < 0,001$).

Upoređujući sadržaj Mn u listovima ispitivanih vrsta tokom sezone, uočava se razlika između vrsta. Jedino su listovi javora i breze iz Obrenovca tokom juna i avgusta imali sličan sadržaj Mn u listovima. Generalno, breza se izdvaja po nižem sadržaju Mn u odnosu na druge dve vrste, a javor po višem. Izuzetak predstavlja mleč u Beogradu i Obrenovcu.

U odnosu na druge ispitivane lokalitete, park kod hale Pionir se odlikuje veoma velikim količinama Mn u listovima mleča tokom cele sezone, zatim sledi park Narodna bašta u Pančevu sa visokim sadržajem Mn u listovima javora i breze.

Sadržaj stroncijuma (Sr) u listovima ispitivanih biljaka

Količina Sr u listovima mleča se tokom istraživanja kretala u širokom opsegu vrednosti, od 30,027 mg/kg u Pančevu do 148,981 mg/kg u Beogradu. Listovi mleča nisu pokazali pravilnost u akumulaciji Sr tokom sezone. Minimalan sadržaj Sr u listovima mleča iz Pančeva i Obrenovca izmeren je u oktobru, odnosno u junu u uzorcima iz Smedereva i Beograda i u avgustu na kontrolnom lokalitetu. Maksimalne količine Sr mleč je pokazao u drugom delu sezone, odnosno u avgustu u Pančevu i Obrenovcu i u oktobru na ostala tri lokaliteta. U listovima mleča tokom cele sezone utvrđene su značajne razlike u količini Sr između ispitivanih lokaliteta i kontrole ($p < 0,001$).

Količina Sr u listovima javora je tokom sezone bila manje varijabilna nego što je to bio slučaj kod druge dve vrste i kretala se od 35,801 mg/kg u Obrenovcu do 75,082 mg/kg u Smederevu. Javor nije pokazao sezonsku pravilnost u usvajanju Sr. Minimalan sadržaj Sr u listovima javora je izmeren u junu, izuzev u Pančevu gde su minimalne vrednosti izmerene u oktobru. Najveći sadržaj Sr u listovima javora iz Pančeva izmeren u junu, odnosno u avgustu u Smederevu, dok su najveće vrednosti na ostala tri lokaliteta izmerene na kraju vegetacijske sezone, u oktobru. Kao i kod mleča, i kod javora je

uočeno da postoji značajna razlika u količini usvojenog Sr između ispitivanih lokaliteta i kontrole ($p < 0,001$).

Najmanju varijabilnost u usvajanju Sr tokom sezone su pokazali listovi breze. Količina akumuliranog Sr je bila u opsegu od 21,612 mg/kg u Pančevu do 51,572 mg/kg u Beogradu. Za razliku od druge dve vrste, breza je pokazala pravilnost u sezonskoj dinamici sa minimalnim vrednostima u oktobru i maksimalnim u avgustu, osim u Beogradu gde su maksimalne vrednosti bile dostignute u junu. Slično mleču i javoru, kod breze je utvrđena značajna razlika u količini Sr između ispitivanih lokaliteta i kontrole ($p < 0,001$).

Tokom cele sezone, na svim ispitivanim lokalitetima bilo je moguće uočiti da se ispitivane vrste značajno razlikuju u usvajanju Sr ($p < 0,001$), osim u junu u Obrenovcu i Beogradu kada su javor i breza pokazali sličan potencijal za usvajanje Sr (ns). Na nivou vrste, breza ima najmanji potencijal za usvajanje Sr, dok se mleč i javor smenjuju u količini usvojenog Sr.

Na nivou lokaliteta, moguće je uočiti da je slično kao i kod prethodno opisanih elemenata, park kod hale Pionir u Beogradu karakterisao veoma visok sadržaj Sr u listovima svih ispitivanih vrsta, a posebno kod mleča. Isto tako, za park u Smederevu je karakterističan visok sadržaj Sr u listovima mleča.

Sadržaj cinka (Zn) u listovima ispitivanih biljaka

Tokom sezone, sadržaj Zn se u listovima mleča kretao od 11,123 mg/kg u Smederevu do 40,473 mg/kg na kontrolnom lokalitetu. Mleč je pokazao određenu sezonsku pravilnost u usvajanju Zn. Minimalne koncentracije Zn u listovima mleča izmerene su u junu na svim lokalitetima, osim u Beogradu, a maksimalne u drugom delu sezone, odnosno u oktobru u Pančevu, Smederevu i kontrolnom lokalitetu i u avgustu u Obrenovcu i Beogradu. Uočene su razlike u sadržaju Zn između ispitivanih lokaliteta i kontrole ($p < 0,001$), sa izuzetkom Beograda i kontrolnog lokaliteta u junu i avgustu (ns).

Sadržaj Zn u listovima javora kretao se od 13,541 mg/kg u Smederevu do 69,685 mg/kg u Beogradu, sa jasnom sezonskom pravilnošću: minimalne vrednosti u junu osim na kontrolnom lokalitetu a maksimalne u oktobru, osim u Smederevu. Primećeno je da tokom cele sezone postojala značajna razlika u količini usvojenog Zn

između ispitivanih lokaliteta i kontrolnog lokaliteta ($p < 0,001$), osim u junu u Beogradu i u oktobru u Pančevu kada su vrednosti bile slične kao na kontroli (ns).

Kod breze, tokom sezone, konstantovan je veoma varijabilan sadržaj Zn u listovima, u intervalu od 20,925 mg/kg u Smederevu do 344,365 mg/kg u Beogradu. Kod breze nije uočena jasna sezonska dinamika. Naime, u Pančevu su najniže koncentracije izmerene u avgustu, u Smederevu, Beogradu i kontroli u junu, a u Obrenovcu u oktobru. Primetna je veća akumulacija u drugom delu sezone: maksimalne vrednosti u Pančevu, Smederevu i Beogradu su dostignute u oktobru, a u Obrenovcu i kontroli u avgustu. Uzorci iz Pančeva u junu i iz Obrenovca u avgustu i oktobru su imali sličan sadržaj Zn kao i uzorci sa kontrolnog lokaliteta (ns).

Upoređujući sadržaj Zn u listovima ispitivanih vrsta konstantovano je da postoje značajne razlike po pitanju akumulacije Zn. Izuzetak su javor i mleč u Smederevu i javor i breza sa kontrole u junu, odnosno javor i mleč iz Beograda u avgustu i u oktobru javor i mleč iz Smedereva (ns). Generalno, mleč se izdvaja po nižem sadržaju Zn u odnosu na druge dve vrste, a breza po višem.

I u ovom slučaju, utvrđeno je da je park kod hale Pionir opterećen povišenim sadržajem elemenata koji su dostupni biljkama više nego drugi lokaliteti. Naime, primetno je da listovi breze koja raste u ovom parku akumuliraju značajno veće količine Zn od iste na drugim lokalitetima ($p < 0,001$), ali i značajno više nego druge dve vrste na istom lokalitetu ($< 0,001$).

Tabela 16. Prostorna i vremenska dinamika sadržaja Al u listovima ispitivanih biljaka u Pančevu, Smederevu, Obrenovcu, Beogradu i na kontrolnom lokalitetu

<i>Acer platanoides</i>																		
Al [mg/kg]	JUN						AVGUST						OKTOBAR					
	M±SD	P	S	O	B	K	M±SD	P	S	O	B	K	M±SD	P	S	O	B	K
Pančevo	213,788±0,140	/	***	***	***	***	216,167±1,285	/	***	***	***	***	183,957±3,616	/	***	ns	***	***
Smederevo	90,404±1,072	***	/	***	***	***	128,036±0,593	***	/	***	ns	***	155,430±0,262	***	/	***	***	ns
Obrenovac	68,351±1,224	***	***	/	***	***	117,498±3,131	***	***	/	***	***	187,384±1,856	ns	***	/	***	***
Beograd	138,65±0,956	***	***	***	/	ns	130,492±0,920	***	ns	***	/	***	198,772±7,816	***	***	***	/	***
Kontrola	132,980±1,206	***	***	***	ns	/	86,201±2,495	***	***	***	***	/	155,029±2,399	***	ns	***	***	/
<i>Acer pseudoplatanus</i>																		
Al [mg/kg]	JUN						AVGUST						OKTOBAR					
	M±SD	P	S	O	B	K	M±SD	P	S	O	B	K	M±SD	P	S	O	B	K
Pančevo	85,218±1,167	/	ns	ns	***	ns	115,612±1,382	/	***	***	***	***	190,729±3,906	/	***	***	***	***
Smederevo	84,943±1,330	ns	/	ns	***	ns	102,908±1,634	***	/	***	***	ns	122,267±1,199	***	/	***	***	***
Obrenovac	83,324±2,542	ns	ns	/	***	**	151,824±2,650	***	***	/	***	***	179,673±3,840	***	***	/	***	***
Beograd	280,795±2,562	***	***	***	/	***	227,359±2,272	***	***	***	/	***	391,394±3,167	***	***	***	/	***
Kontrola	90,990±1,065	ns	ns	**	***	/	97,892±1,175	***	ns	***	***	/	244,209±2,727	***	***	***	***	/
<i>Betula pendula</i>																		
Al [mg/kg]	JUN						AVGUST						OKTOBAR					
	M±SD	P	S	O	B	K	M±SD	P	S	O	B	K	M±SD	P	S	O	B	K
Pančevo	134,166±3,344	/	***	***	***	***	108,716±3,496	/	***	***	***	***	93,349±3,129	/	***	***	***	***
Smederevo	93,841±1,410	***	/	***	***	***	147,034±2,051	***	/	***	ns	***	101,866±2,245	***	/	***	***	***
Obrenovac	333,788±2,047	***	***	/	***	***	88,160±2,760	***	***	/	***	ns	120,227±0,654	***	***	/	***	**
Beograd	121,865±2,371	***	***	***	/	***	150,904±3,911	***	ns	***	/	***	181,078±3,874	***	***	***	/	***
Kontrola	73,391±2,051	***	***	***	***	/	87,716±1,241	***	***	ns	***	/	128,147±2,995	***	***	**	***	/

ANOVA, n=5, *p<0,05, **p<0,01, ***p<0,001, ns-nema značajnih razlika

Tabela 17. Razlike u sadržaju Al u listovima ispitivanih biljaka u Pančevu, Smederevu, Obrenovcu, Beogradu i na kontrolnom lokalitetu u junu, avgustu i oktobru

	Al [mg/kg]		Pančevo			Smederevo			Obrenovac			Beograd			Kontrola		
	Vrsta	M ±SD	Pl	Ps	B	M ±SD	Pl	Ps	B	M ±SD	Pl	Ps	B	M ±SD	Pl	Ps	B
JUN	<i>A. platanoides</i>	213,788 ±0,140	/	***	***	90,404 ±1,072	/	ns	ns	68,351 ±1,224	/	***	***	138,655 ±0,956	/	***	***
	<i>A. pseudoplatanus</i>	85,218 ±1,167	***	/	***	84,943 ±1,330	ns	/	***	83,324 ±2,542	***	/	***	280,795 ±2,562	***	/	***
	<i>B. pendula</i>	134,166 ±3,344	***	***	/	93,841 ±1,410	ns	***	/	333,788 ±2,047	***	***	/	121,865 ±2,371	***	***	/
AVGUST	<i>A. platanoides</i>	216,167 ±1,285	/	***	***	128,036 ±0,593	/	***	***	117,498 ±3,131	/	***	***	130,492 ±0,920	/	***	***
	<i>A. pseudoplatanus</i>	115,612 ±1,382	***	/	*	102,908 ±1,634	***	/	***	151,824 ±2,650	***	/	***	227,359 ±2,272	***	/	***
	<i>B. pendula</i>	108,716 ±3,496	***	*	/	147,034 ±2,051	***	***	/	88,160 ±2,760	***	***	/	150,904 ±3,911	***	***	/
OKTOBAR	<i>A. platanoides</i>	183,957 ±3,616	/	*	***	155,430 ±0,262	/	***	***	187,384 ±1,856	/	**	***	198,772 ±7,816	/	***	***
	<i>A. pseudoplatanus</i>	190,729 ±3,906	*	/	***	122,267 ±1,199	***	/	***	179,673 ±3,840	**	/	***	391,394 ±3,167	***	/	***
	<i>B. pendula</i>	93,349 ±3,129	***	***	/	101,866 ±2,245	***	***	/	120,227 ±0,654	***	***	/	181,078 ±3,874	***	***	/

ANOVA, n=5, *p<0,05, **p<0,01, ***p<0,001, ns-nema značajnih razlika

Tabela 18. Prostorna i vremenska dinamika sadržaja B u listovima ispitivanih biljaka u Pančevu, Smederevu, Obrenovcu, Beogradu i na kontrolnom lokalitetu

<i>Acer platanoides</i>																		
B [mg/kg]	JUN						AVGUST						OKTOBAR					
	M±SD	P	S	O	B	K	M±SD	P	S	O	B	K	M±SD	P	S	O	B	K
Pančevo	45,549±0,272	/	***	***	***	***	65,118±0,416	/	***	***	***	***	59,894±0,288	/	***	***	***	***
Smederevo	26,852±1,901	***	/	ns	***	*	118,526±1,107	***	/	***	***	***	174,275±0,965	***	/	***	***	***
Obrenovac	30,704±3,798	***	ns	/	***	ns	96,150±0,516	***	***	/	***	***	106,549±0,537	***	***	/	***	***
Beograd	81,847±0,553	***	***	***	/	***	195,424±2,604	***	***	***	/	***	114,720±2,256	***	***	***	/	***
Kontrola	33,854±0,507	***	*	ns	***	/	69,449±1,086	***	***	***	***	/	79,490±0,694	***	***	***	***	/
<i>Acer pseudoplatanus</i>																		
B [mg/kg]	JUN						AVGUST						OKTOBAR					
	M±SD	P	S	O	B	K	M±SD	P	S	O	B	K	M±SD	P	S	O	B	K
Pančevo	56,784±2,082	/	***	***	***	***	97,818±0,555	/	***	***	***	***	110,455±0,569	/	***	***	***	*
Smederevo	47,543±4,502	***	/	***	***	***	164,234±1,345	***	/	***	***	***	217,605±1,052	***	/	***	***	***
Obrenovac	27,005±3,392	***	***	/	***	***	104,461±0,762	***	***	/	***	***	148,413±0,789	***	***	/	***	***
Beograd	27,005±3,392	***	***	***	/	ns	85,031±0,405	***	***	***	/	***	99,514±0,788	***	***	***	/	***
Kontrola	38,788±0,181	***	***	***	ns	/	91,717±0,955	***	***	***	***	/	113,509±0,745	*	***	***	***	/
<i>Betula pendula</i>																		
B [mg/kg]	JUN						AVGUST						OKTOBAR					
	M±SD	P	S	O	B	K	M±SD	P	S	O	B	K	M±SD	P	S	O	B	K
Pančevo	36,591±0,120	/	***	ns	***	***	44,531±0,516	/	***	***	***	***	59,205±0,657	/	***	***	***	***
Smederevo	106,294±0,656	***	/	***	***	***	134,573±1,224	***	/	***	***	***	191,394±1,536	***	/	***	***	***
Obrenovac	30,965±0,622	ns	***	/	***	***	79,005±0,756	***	***	/	***	***	86,114±0,854	***	***	/	***	***
Beograd	168,825±12,743	***	***	***	/	***	269,143±2,948	***	***	***	/	***	276,883±1,653	***	***	***	/	***
Kontrola	45,894±2,971	***	***	***	***	/	67,804±0,472	***	***	***	***	/	105,563±0,722	***	***	***	***	/

ANOVA, n=5, *p<0,05, **p<0,01, ***p<0,001, ns-nema značajnih razlika

Tabela 19. Razlike u sadržaju B u listovima ispitivanih biljaka u Pančevu, Smederevu, Obrenovcu, Beogradu i na kontrolnom lokalitetu u junu, avgustu i oktobru

	B [mg/kg]		Pančevo			Smederevo			Obrenovac			Beograd			Kontrola						
	Vrsta	M ±SD	Pl	Ps	B	M ±SD	Pl	Ps	B	M ±SD	Pl	Ps	B	M ±SD	Pl	Ps	B	M ±SD	Pl	Ps	B
JUN	<i>A. platanoides</i>	45,549 ±0,272	/	***	***	26,852 ±1,901	/	***	***	30,704 ±3,798	/	ns	ns	81,847 ±0,553	/	***	***	33,854 ±0,507	/	ns	***
	<i>A. pseudoplatanus</i>	56,784 ±2,082	***	/	***	47,543 ±4,502	***	/	***	27,005 ±3,392	ns	/	ns	39,028 ±0,447	***	/	***	38,788 ±0,181	ns	/	**
	<i>B. pendula</i>	36,591 ±0,120	***	***	/	106,294 ±0,656	***	***	/	30,965 ±0,622	ns	ns	/	168,825 ±12,743	***	***	/	45,894 ±2,971	***	**	/
	B [mg/kg]		Pančevo			Smederevo			Obrenovac			Beograd			Kontrola						
	Vrsta	M ±SD	Pl	Ps	B	M ±SD	Pl	Ps	B	M ±SD	Pl	Ps	B	M ±SD	Pl	Ps	B	M ±SD	Pl	Ps	B
AVGUST	<i>A. platanoides</i>	65,118 ±0,416	/	***	***	118,526 ±1,107	/	***	***	96,150 ±0,516	/	***	***	195,424 ±2,604	/	***	***	69,449 ±1,086	/	***	ns
	<i>A. pseudoplatanus</i>	97,818 ±0,555	***	/	***	164,234 ±1,345	***	/	***	104,461 ±0,762	***	/	***	85,031 ±0,405	***	/	***	91,717 ±0,955	***	/	***
	<i>B. pendula</i>	44,531 ±0,516	***	***	/	134,573 ±1,224	***	***	/	79,005 ±0,756	***	***	/	269,143 ±2,948	***	***	/	67,804 ±0,472	ns	***	/
	B [mg/kg]		Pančevo			Smederevo			Obrenovac			Beograd			Kontrola						
	Vrsta	M ±SD	Pl	Ps	B	M ±SD	Pl	Ps	B	M ±SD	Pl	Ps	B	M ±SD	Pl	Ps	B	M ±SD	Pl	Ps	B
OKTOBAR	<i>A. platanoides</i>	59,894 ±0,288	/	***	ns	174,275 ±0,965	/	***	***	106,549 ±0,537	/	***	***	114,720 ±2,256	/	***	***	79,490 ±0,694	/	***	***
	<i>A. pseudoplatanus</i>	110,455 ±0,569	***	/	***	217,605 ±1,052	***	/	***	148,413 ±0,789	***	/	***	99,514 ±0,788	***	/	***	113,509 ±0,745	***	/	***
	<i>B. pendula</i>	59,205 ±0,657	ns	***	/	191,394 ±1,536	***	***	/	86,114 ±0,854	***	***	/	276,883 ±1,653	***	***	/	105,563 ±0,722	***	***	/

ANOVA, n=5, *p<0,05, **p<0,01, ***p<0,001, ns-nema značajnih razlika

Tabela 20. Prostorna i vremenska dinamika sadržaja Cu u listovima ispitivanih biljaka u Pančevu, Smederevu, Obrenovcu, Beogradu i na kontrolnom lokalitetu

<i>Acer platanoides</i>																		
Cu [mg/kg]	JUN						AVGUST						OKTOBAR					
	M±SD	P	S	O	B	K	M±SD	P	S	O	B	K	M±SD	P	S	O	B	K
Pančevo	6,558±0,152	/	ns	***	***	ns	6,804±0,290	/	***	***	ns	ns	5,902±0,190	/	ns	***	***	ns
Smederevo	6,896±0,271	ns	/	***	***	ns	8,300±0,183	***	/	***	***	***	5,998±0,059	ns	/	***	***	**
Obrenovac	9,042±0,120	***	***	/	ns	***	4,704±0,132	***	***	/	***	***	4,552±0,257	***	***	/	ns	ns
Beograd	8,811±0,192	***	***	ns	/	***	6,705±0,285	ns	***	***	/	ns	4,784±0,178	***	***	ns	/	ns
Kontrola	6,723±0,279	ns	ns	***	***	/	7,244±0,930	ns	***	***	ns	/	5,137±0,191	ns	**	ns	ns	/
<i>Acer pseudoplatanus</i>																		
Cu [mg/kg]	JUN						AVGUST						OKTOBAR					
	M±SD	P	S	O	B	K	M±SD	P	S	O	B	K	M±SD	P	S	O	B	K
Pančevo	6,345±0,363	/	***	***	***	**	6,560±0,365	/	***	***	***	***	4,226±0,414	/	*	***	***	***
Smederevo	4,037±0,176	***	/	***	***	***	4,076±0,200	***	/	***	***	***	3,460±0,344	*	/	***	***	***
Obrenovac	8,505±0,260	***	***	/	***	***	10,443±0,279	***	***	/	***	***	12,876±0,405	***	***	/	***	***
Beograd	13,815±0,396	***	***	***	/	***	16,001±0,480	***	***	***	/	***	17,374±0,294	***	***	***	/	***
Kontrola	7,274±0,247	**	***	***	***	/	7,972±0,387	***	***	***	***	/	6,776±0,118	***	***	***	***	/
<i>Betula pendula</i>																		
Cu [mg/kg]	JUN						AVGUST						OKTOBAR					
	M±SD	P	S	O	B	K	M±SD	P	S	O	B	K	M±SD	P	S	O	B	K
Pančevo	4,898±0,159	/	***	**	***	ns	4,086±0,261	/	ns	ns	ns	ns	3,631±0,130	/	ns	ns	***	ns
Smederevo	3,674±0,188	***	/	***	***	***	3,754±0,149	ns	/	ns	ns	**	4,221±0,214	ns	/	ns	ns	ns
Obrenovac	5,814±0,499	**	***	/	ns	ns	3,721±0,276	ns	ns	/	ns	**	4,103±0,219	ns	ns	/	ns	ns
Beograd	5,867±0,238	***	***	ns	/	ns	3,944±0,106	ns	ns	ns	/	ns	4,777±0,083	***	ns	ns	/	ns
Kontrola	5,628±0,140	ns	***	ns	ns	/	4,647±0,093	ns	**	**	ns	/	4,037±0,129	ns	ns	ns	ns	/

ANOVA, n=5, *p<0,05, **p<0,01, ***p<0,001, ns-nema značajnih razlika

Tabela 21. Razlike u sadržaju Cu u listovima ispitivanih biljaka u Pančevu, Smederevu, Obrenovcu, Beogradu i na kontrolnom lokalitetu u junu, avgustu i oktobru

JUN	Cu [mg/kg]		Pančevo				Smederevo				Obrenovac				Beograd				Kontrola			
	Vrsta	M ±SD	Pl	Ps	B	M ±SD	Pl	Ps	B	M ±SD	Pl	Ps	B	M ±SD	Pl	Ps	B	M ±SD	Pl	Ps	B	
	A. platanoides	6,558 ±0,152	/	ns	***	6,896 ±0,271	/	***	***	9,042 ±0,120	/	ns	***	8,811 ±0,192	/	***	***	6,723 ±0,279	/	ns	***	
	A. pseudoplatanus	6,345 ±0,363	ns	/	***	4,037 ±0,176	***	/	ns	8,505 ±0,260	ns	/	***	13,815 ±0,396	***	/	***	7,274 ±0,247	ns	/	***	
	B. pendula	4,898 ±0,159	***	***	/	3,674 ±0,188	***	ns	/	5,814 ±0,499	***	***	/	5,867 ±0,238	***	***	/	5,628 ±0,140	***	***	/	
AUGUST	Cu [mg/kg]		Pančevo				Smederevo				Obrenovac				Beograd				Kontrola			
	Vrsta	M ±SD	Pl	Ps	B	M ±SD	Pl	Ps	B	M ±SD	Pl	Ps	B	M ±SD	Pl	Ps	B	M ±SD	Pl	Ps	B	
	A. platanoides	6,804 ±0,290	/	ns	***	8,300 ±0,183	/	***	***	4,704 ±0,132	/	***	***	6,705 ±0,285	/	***	***	7,244 ±0,930	/	ns	***	
	A. pseudoplatanus	6,560 ±0,365	ns	/	***	4,076 ±0,200	***	/	ns	10,443 ±0,279	***	/	***	16,001 ±0,480	***	/	***	7,972 ±0,387	ns	/	***	
	B. pendula	4,086 ±0,261	***	***	/	3,754 ±0,149	***	ns	/	3,721 ±0,276	***	***	/	3,944 ±0,106	***	***	/	4,647 ±0,093	***	***	/	
OKTOBAR	Cu [mg/kg]		Pančevo				Smederevo				Obrenovac				Beograd				Kontrola			
	Vrsta	M ±SD	Pl	Ps	B	M ±SD	Pl	Ps	B	M ±SD	Pl	Ps	B	M ±SD	Pl	Ps	B	M ±SD	Pl	Ps	B	
	A. platanoides	5,902 ±0,190	/	***	***	5,998 ±0,059	/	***	***	4,552 ±0,257	/	***	ns	4,784 ±0,178	/	***	ns	5,137 ±0,191	/	***	***	
	A. pseudoplatanus	4,226 ±0,414	***	/	ns	3,460 ±0,344	***	/	ns	12,876 ±0,279	***	/	***	17,374 ±0,294	***	/	***	6,776 ±0,118	***	/	***	
	B. pendula	3,631 ±0,130	***	ns	/	4,221 ±0,214	***	ns	/	4,103 ±0,405	ns	***	/	4,777 ±0,083	ns	***	/	4,037 ±0,129	***	***	/	

ANOVA, n=5, *p<0,05, **p<0,01, ***p<0,001, ns-nema značajnih razlika

Tabela 22. Prostorna i vremenska dinamika sadržaja Fe u listovima ispitivanih biljaka u Pančevu, Smederevu, Obrenovcu, Beogradu i na kontrolnom lokalitetu

<i>Acer platanoides</i>																		
Fe [mg/kg]	JUN						AVGUST						OKTOBAR					
	M±SD	P	S	O	B	K	M±SD	P	S	O	B	K	M±SD	P	S	O	B	K
Pančevo	229,564±1,414	/	***	***	***	***	291,554±1,007	/	**	***	***	***	305,157±3,538	/	ns	***	***	***
Smederevo	213,198±2,433	***	/	***	***	***	298,965±3,510	**	/	***	***	***	310,913±5,585	ns	/	***	***	***
Obrenovac	95,142±0,776	***	***	/	***	***	163,716±0,952	***	***	/	***	ns	226,764±4,214	***	***	/	*	***
Beograd	134,403±0,410	***	***	***	/	***	176,149±0,290	***	***	***	/	***	233,156±2,679	***	***	*	/	***
Kontrola	126,544±0,525	***	***	***	***	/	167,067±2,250	***	***	ns	***	/	218,383±0,762	***	***	***	***	/
<i>Acer pseudoplatanus</i>																		
Fe [mg/kg]	JUN						AVGUST						OKTOBAR					
	M±SD	P	S	O	B	K	M±SD	P	S	O	B	K	M±SD	P	S	O	B	K
Pančevo	119,852±0,640	/	***	***	***	ns	188,370±2,635	/	***	ns	***	***	238,836±1,402	/	***	***	***	***
Smederevo	162,058±1,092	***	/	***	***	***	257,895±2,294	***	/	***	***	***	230,387±4,370	***	/	***	***	***
Obrenovac	106,783±1,175	***	***	/	***	***	186,506±3,282	ns	***	/	***	***	196,372±1,440	***	***	/	***	***
Beograd	389,027±3,038	***	***	***	/	***	461,196±0,851	***	***	***	/	***	615,679±3,403	***	***	***	/	***
Kontrola	118,249±1,085	ns	***	***	***	/	212,678±5,257	***	***	***	***	/	331,651±3,292	***	***	***	***	/
<i>Betula pendula</i>																		
Fe [mg/kg]	JUN						AVGUST						OKTOBAR					
	M±SD	P	S	O	B	K	M±SD	P	S	O	B	K	M±SD	P	S	O	B	K
Pančevo	144,137±1,606	/	***	***	***	***	130,282±0,817	/	***	***	***	***	136,737±1,351	/	***	***	***	ns
Smederevo	180,536±0,987	***	/	***	***	***	361,446±0,986	***	/	***	***	***	217,385 ±1,052	***	/	***	*	***
Obrenovac	270,651±1,825	***	***	/	***	***	138,226±1,460	***	***	/	***	***	180,016±4,603	***	***	/	***	***
Beograd	110,209±0,528	***	***	***	/	***	182,920±3,969	***	***	***	/	***	210,858±0,615	***	*	***	/	***
Kontrola	86,016±0,596	***	***	***	***	/	150,962±0,652	***	***	***	***	/	140,889±1,043	ns	***	***	***	/

ANOVA, n=5, *p<0,05, **p<0,01, ***p<0,001, ns-nema značajnih razlika

Tabela 23. Razlike u sadržaju Fe u listovima ispitivanih biljaka u Pančevu, Smederevu, Obrenovcu, Beogradu i na kontrolnom lokalitetu u junu, avgustu i oktobru

	Fe [mg/kg]		Pančevo			Smederevo				Obrenovac				Beograd				Kontrola			
	Vrsta	M ±SD	Pl	Ps	B	M ±SD	Pl	Ps	B	M ±SD	Pl	Ps	B	M ±SD	Pl	Ps	B	M ±SD	Pl	Ps	B
JUN	A. platanoides	229,564 ±1,414	/	***	***	213,198 ±2,433	/	***	***	95,142 ±0,776	/	***	***	134,403 ±0,410	/	***	***	126,544 ±0,525	/	***	***
	A. pseudoplatanus	119,852 ±0,640	***	/	***	162,058 ±1,092	***	/	***	106,783 ±1,175	***	/	***	389,027 ±3,038	***	/	***	118,249 ±1,085	***	/	***
	B. pendula	144,137 ±1,606	***	***	/	180,536 ±0,987	***	***	/	270,651 ±1,825	***	***	/	110,209 ±0,528	***	***	/	86,016 ±0,596	***	***	/
	Fe [mg/kg]		Pančevo			Smederevo				Obrenovac				Beograd				Kontrola			
	Vrsta	M ±SD	Pl	Ps	B	M ±SD	Pl	Ps	B	M ±SD	Pl	Ps	B	M ±SD	Pl	Ps	B	M ±SD	Pl	Ps	B
AVGUST	A. platanoides	291,554 ±1,007	/	***	***	298,965 ±3,510	/	***	***	163,716 ±0,952	/	***	***	176,149 ±0,290	/	***	*	167,067 ±2,250	/	***	***
	A. pseudoplatanus	188,370 ±2,635	***	/	***	257,895 ±2,294	***	/	***	186,506 ±3,282	***	/	***	461,196 ±0,851	***	/	***	212,678 ±5,257	***	/	***
	B. pendula	130,282 ±0,817	***	***	/	361,446 ±0,986	***	***	/	138,226 ±1,460	***	***	/	182,920 ±3,969	*	***	/	150,962 ±0,652	***	***	/
	Fe [mg/kg]		Pančevo			Smederevo				Obrenovac				Beograd				Kontrola			
	Vrsta	M ±SD	Pl	Ps	B	M ±SD	Pl	Ps	B	M ±SD	Pl	Ps	B	M ±SD	Pl	Ps	B	M ±SD	Pl	Ps	B
OKTOBAR	A. platanoides	305,157 ±3,538	/	***	***	310,913 ±5,585	/	***	***	226,764 ±4,214	/	***	***	233,156 ±2,679	/	***	***	218,383 ±0,762	/	***	***
	A. pseudoplatanus	238,836 ±1,402	***	/	***	230,387 ±4,370	***	/	***	196,372 ±1,440	***	/	***	615,679 ±3,403	***	/	***	331,651 ±3,292	***	/	***
	B. pendula	136,737 ±1,351	***	***	/	217,385 ±1,052	***	***	/	180,016 ±4,603	***	***	/	210,858 ±0,615	***	***	/	140,889 ±1,043	***	***	/

ANOVA, n=5, *p<0,05, **p<0,01, ***p<0,001, ns-nema značajnih razlika

Tabela 24. Prostorna i vremenska dinamika sadržaja Mn u listovima ispitivanih biljaka u Pančevu, Smederevu, Obrenovcu, Beogradu i na kontrolnom lokalitetu

<i>Acer platanoides</i>																		
Mn [mg/kg]	JUN						AVGUST						OKTOBAR					
	M±SD	P	S	O	B	K	M±SD	P	S	O	B	K	M±SD	P	S	O	B	K
Pančevo	73,718±0,289	/	***	***	***	***	27,515±0,343	/	***	***	***	***	89,271±0,664	/	***	***	***	ns
Smederevo	21,018±0,326	***	/	ns	***	***	34,325±0,280	***	/	ns	***	***	40,590±0,516	***	/	***	***	***
Obrenovac	21,143±0,249	***	ns	/	***	***	33,120±0,349	***	ns	/	***	***	26,499±0,394	***	***	/	***	***
Beograd	175,506±0,900	***	***	***	/	***	486,761±4,521	***	***	***	/	***	375,303±3,184	***	***	***	/	***
Kontrola	45,169±0,359	***	***	***	***	/	66,725±0,229	***	***	***	***	/	87,567±0,974	ns	***	***	***	/
<i>Acer pseudoplatanus</i>																		
Mn [mg/kg]	JUN						AVGUST						OKTOBAR					
	M±SD	P	S	O	B	K	M±SD	P	S	O	B	K	M±SD	P	S	O	B	K
Pančevo	93,295±0,374	/	***	***	***	***	131,256±1,028	/	***	***	***	***	118,184±0,921	/	***	***	***	***
Smederevo	59,323±1,107	***	/	***	***	***	106,478±0,324	***	/	***	***	***	100,466±0,882	***	/	***	***	***
Obrenovac	15,917±0,334	***	***	/	***	***	17,709±0,312	***	***	/	***	***	35,719±0,234	***	***	/	***	***
Beograd	51,481±1,061	***	***	***	/	***	75,250 ±1,712	***	***	***	/	ns	60,556±0,219	***	***	***	/	ns
Kontrola	47,852±0,684	***	***	***	***	/	74,549 ±0,440	***	***	***	ns	/	60,464±0,439	***	***	***	ns	/
<i>Betula pendula</i>																		
Mn [mg/kg]	JUN						AVGUST						OKTOBAR					
	M±SD	P	S	O	B	K	M±SD	P	S	O	B	K	M±SD	P	S	O	B	K
Pančevo	57,503±0,951	/	***	***	***	***	107,308±0,448	/	***	***	***	***	101,384±0,509	/	***	***	***	***
Smederevo	15,866±0,238	***	/	ns	***	***	43,782±0,251	***	/	***	***	**	30,676±0,449	***	/	ns	**	***
Obrenovac	15,443±0,403	***	ns	/	***	***	17,613±0,285	***	***	/	***	***	31,952±0,424	***	ns	/	***	***
Beograd	20,684±0,454	***	***	***	/	***	29,065±0,572	***	***	***	/	***	27,406±0,539	***	**	***	/	***
Kontrola	27,515±0,343	***	***	***	***	/	40,510±0,337	***	**	***	***	/	37,117±0,258	***	***	***	***	/

ANOVA, n=5, *p<0,05, **p<0,01, ***p<0,001, ns-nema značajnih razlika

Tabela 25. Razlike u sadržaju Mn u listovima ispitivanih biljaka u Pančevu, Smederevu, Obrenovcu, Beogradu i na kontrolnom lokalitetu u junu, avgustu i oktobru

	Mn [mg/kg]		Pančevo			Smederevo			Obrenovac			Beograd			Kontrola		
	Vrsta	M ±SD	Pl	Ps	B	M ±SD	Pl	Ps	B	M ±SD	Pl	Ps	B	M ±SD	Pl	Ps	B
JUN	<i>A. platanoides</i>	73,718 ±0,289	/	***	***	21,018 ±0,326	/	***	***	21,143 ±0,249	/	***	***	175,506 ±0,900	/	***	***
	<i>A. pseudoplatanus</i>	93,295 ±0,374	***	/	***	59,323 ±1,107	***	/	***	15,917 ±0,334	***	/	ns	51,481 ±1,061	***	/	***
	<i>B. pendula</i>	57,503 ±0,951	***	***	/	15,866 ±0,238	***	***	/	15,443 ±0,403	***	ns	/	20,684 ±0,454	***	***	/
AVGUST	<i>A. platanoides</i>	114,100 ±1,030	/	***	***	34,325 ±0,280	/	***	***	33,120 ±0,349	/	***	***	486,761 ±4,521	/	***	***
	<i>A. pseudoplatanus</i>	131,256 ±1,028	***	/	***	106,478 ±0,324	***	/	***	17,709 ±0,312	***	/	ns	75,250 ±1,712	***	/	***
	<i>B. pendula</i>	107,308 ±0,448	***	***	/	43,782 ±0,251	***	***	/	17,613 ±0,285	***	ns	/	29,065 ±0,572	***	***	/
OKTOBAR	<i>A. platanoides</i>	89,291 ±0,664	/	***	***	40,590 ±0,516	/	***	***	26,499 ±0,394	/	***	***	375,303 ±3,184	/	***	***
	<i>A. pseudoplatanus</i>	118,184 ±0,921	***	/	***	100,466 ±0,882	***	/	***	35,719 ±0,234	***	/	***	60,556 ±0,219	***	/	***
	<i>B. pendula</i>	101,384 ±0,509	***	***	/	30,676 ±0,449	***	***	/	31,952 ±0,424	***	***	/	27,406 ±0,539	***	***	/

ANOVA, n=5, *p<0,05, **p<0,01, ***p<0,001, ns-nema značajnih razlika

Tabela 26. Prostorna i vremenska dinamika sadržaja Sr u listovima ispitivanih biljaka u Pančevu, Smederevu, Obrenovcu, Beogradu i na kontrolnom lokalitetu

<i>Acer platanoides</i>																		
Sr [mg/kg]	JUN						AVGUST						OKTOBAR					
	M±SD	P	S	O	B	K	M±SD	P	S	O	B	K	M±SD	P	S	O	B	K
Pančevo	30,502±0,247	/	ns	***	***	***	31,215±0,359	/	***	***	***	***	30,027±0,476	/	***	***	***	***
Smederevo	31,553±0,272	ns	/	***	***	***	38,445±0,307	***	/	***	***	***	47,141±0,615	***	/	***	***	***
Obrenovac	45,941±0,301	***	***	/	***	***	54,308±0,558	***	***	/	***	***	43,158±0,226	***	***	/	***	***
Beograd	124,752±0,407	***	***	***	/	***	146,472±0,130	***	***	***	/	***	148,981±0,538	***	***	***	/	***
Kontrola	54,391±0,570	***	***	***	***	/	51,385±0,440	***	***	***	***	/	64,185±1,928	***	***	***	***	/
<i>Acer pseudoplatanus</i>																		
Sr [mg/kg]	JUN						AVGUST						OKTOBAR					
	M±SD	P	S	O	B	K	M±SD	P	S	O	B	K	M±SD	P	S	O	B	K
Pančevo	46,097±0,425	/	***	***	***	***	42,502±0,318	/	***	***	***	***	40,948±0,696	/	***	***	***	***
Smederevo	58,058±0,342	***	/	***	***	***	75,082±0,581	***	/	***	***	***	72,304±0,268	***	/	***	ns	***
Obrenovac	35,801±0,127	***	***	/	***	***	36,807±0,503	***	***	/	***	***	47,004±0,398	***	***	/	***	***
Beograd	50,315±0,449	***	***	***	/	***	68,479±0,440	***	***	***	/	***	73,488±0,350	***	ns	***	/	***
Kontrola	44,323±0,459	***	***	***	***	/	51,531±0,265	***	***	***	***	/	67,819±0,567	***	***	***	***	/
<i>Betula pendula</i>																		
Sr [mg/kg]	JUN						AVGUST						OKTOBAR					
	M±SD	P	S	O	B	K	M±SD	P	S	O	B	K	M±SD	P	S	O	B	K
Pančevo	34,427±0,291	/	***	ns	***	***	36,287±0,280	/	***	***	***	***	21,612±0,170	/	***	***	***	***
Smederevo	36,190±0,457	***	/	ns	***	***	44,048±0,411	***	/	***	***	***	34,939±0,419	***	/	***	***	***
Obrenovac	35,559±0,271	ns	ns	/	***	***	41,994±0,517	***	***	/	***	***	29,738±0,593	***	***	/	***	***
Beograd	51,572±0,192	***	***	***	/	***	48,501±0,285	***	***	***	/	***	46,156±0,379	***	***	***	/	***
Kontrola	28,986±0,644	***	***	***	***	/	31,442±0,212	***	***	***	***	/	27,140±0,740	***	***	***	***	/

ANOVA, n=5, *p<0,05, **p<0,01, ***p<0,001, ns-nema značajnih razlika

Tabela 27. Razlike u sadržaju Sr u listovima ispitivanih biljaka u Pančevu, Smederevu, Obrenovcu, Beogradu i na kontrolnom lokalitetu u junu, avgustu i oktobru

	Sr [mg/kg]		Pančevo			Smederevo			Obrenovac			Beograd			Kontrola		
	Vrsta	M ±SD	Pl	Ps	B	M ±SD	Pl	Ps	B	M ±SD	Pl	Ps	B	M ±SD	Pl	Ps	B
JUN	<i>A. platanoides</i>	30,502 ±0,247	/	***	***	31,553 ±0,272	/	***	***	45,941 ±0,301	/	***	***	124,752 ±0,407	/	***	***
	<i>A. pseudoplatanus</i>	46,097 ±0,425	***	/	***	58,058 ±0,342	***	/	***	35,801 ±0,127	***	/	ns	50,315 ±0,449	***	/	ns
	<i>B. pendula</i>	34,427 ±0,291	***	***	/	36,190 ±0,457	***	***	/	35,559 ±0,271	***	ns	/	51,572 ±0,192	***	ns	/
	Sr [mg/kg]		Pančevo			Smederevo			Obrenovac			Beograd			Kontrola		
	Vrsta	M ±SD	Pl	Ps	B	M ±SD	Pl	Ps	B	M ±SD	Pl	Ps	B	M ±SD	Pl	Ps	B
AVGUST	<i>A. platanoides</i>	31,215 ±0,359	/	***	***	38,445 ±0,307	/	***	***	54,308 ±0,558	/	***	***	146,472 ±0,130	/	***	***
	<i>A. pseudoplatanus</i>	42,502 ±0,318	***	/	***	75,082 ±0,581	***	/	***	36,807 ±0,503	***	/	***	68,479 ±0,440	***	/	***
	<i>B. pendula</i>	36,287 ±0,280	***	***	/	44,048 ±0,411	***	***	/	41,994 ±0,517	***	***	/	48,501 ±0,285	***	***	/
	Sr [mg/kg]		Pančevo			Smederevo			Obrenovac			Beograd			Kontrola		
	Vrsta	M ±SD	Pl	Ps	B	M ±SD	Pl	Ps	B	M ±SD	Pl	Ps	B	M ±SD	Pl	Ps	B
OKTOBAR	<i>A. platanoides</i>	30,027 ±0,476	/	***	***	47,141 ±0,615	/	***	***	43,158 ±0,226	/	***	***	148,981 ±0,538	/	***	***
	<i>A. pseudoplatanus</i>	40,948 ±0,696	***	/	***	72,304 ±0,268	***	/	***	47,004 ±0,398	***	/	***	73,488 ±0,350	***	/	***
	<i>B. pendula</i>	21,612 ±0,170	***	***	/	34,939 ±0,419	***	***	/	29,738 ±0,593	***	***	/	46,156 ±0,379	***	***	/

ANOVA, n=5, *p<0,05, **p<0,01, ***p<0,001, ns-nema značajnih razlika

Tabela 28. Prostorna i vremenska dinamika sadržaja Zn u listovima ispitivanih biljaka u Pančevu, Smederevu, Obrenovcu, Beogradu i na kontrolnom lokalitetu

<i>Acer platanoides</i>																		
Zn [mg/kg]	JUN						AVGUST						OKTOBAR					
	M±SD	P	S	O	B	K	M±SD	P	S	O	B	K	M±SD	P	S	O	B	K
Pančevo	14,602±0,112	/	***	ns	***	***	19,359±0,775	/	***	**	***	***	21,456±0,394	/	ns	***	***	***
Smederevo	11,123±0,503	***	/	***	***	***	15,664±0,394	***	/	***	***	***	21,705±0,560	ns	/	***	***	***
Obrenovac	16,060±0,261	ns	***	/	***	***	22,414±0,213	**	***	/	***	***	18,153±0,799	***	***	/	***	***
Beograd	21,631±0,286	***	***	***	/	ns	31,144±0,310	***	***	***	/	ns	13,610±0,338	***	***	***	/	***
Kontrola	20,546±0,333	***	***	***	ns	/	30,666±0,264	***	***	***	ns	/	40,473±0,343	***	***	***	***	/
<i>Acer pseudoplatanus</i>																		
Zn [mg/kg]	JUN						AVGUST						OKTOBAR					
	M±SD	P	S	O	B	K	M±SD	P	S	O	B	K	M±SD	P	S	O	B	K
Pančevo	20,139±0,228	/	***	ns	***	***	30,602±0,503	/	*	***	ns	***	31,634±1,985	/	***	***	***	ns
Smederevo	13,541±0,308	***	/	***	***	***	27,976±0,623	*	/	*	***	***	19,525±0,164	***	/	***	***	***
Obrenovac	20,577±0,169	ns	***	/	***	***	25,166±1,154	***	*	/	***	***	40,415±0,317	***	***	/	***	***
Beograd	26,765±0,465	***	***	***	/	ns	32,130±0,641	ns	***	***	/	***	69,685±0,312	***	***	***	/	***
Kontrola	28,475±0,203	***	***	***	ns	/	21,831±0,641	***	***	***	***	/	30,102±1,446	ns	***	***	***	/
<i>Betula pendula</i>																		
Zn [mg/kg]	JUN						AVGUST						OKTOBAR					
	M±SD	P	S	O	B	K	M±SD	P	S	O	B	K	M±SD	P	S	O	B	K
Pančevo	29,803±0,687	/	***	***	***	ns	24,882±0,631	/	***	***	***	***	39,394±0,306	/	***	***	***	***
Smederevo	20,925±0,517	***	/	***	***	***	51,292±0,730	***	/	***	***	***	63,673±0,674	***	/	***	***	***
Obrenovac	36,684±0,688	***	***	/	***	***	38,291±0,681	***	***	/	***	ns	34,365±0,294	***	***	/	***	ns
Beograd	199,545±1,060	***	***	***	/	***	332,074±4,601	***	***	***	/	***	344,965±2,103	***	***	***	/	***
Kontrola	30,023±0,656	ns	***	***	***	/	40,414±0,522	***	***	ns	***	/	35,525±0,277	***	***	ns	***	/

ANOVA, n=5, *p<0,05, **p<0,01, ***p<0,001, ns-nema značajnih razlika

Tabela 29. Razlike u sadržaju Zn u listovima ispitivanih biljaka u Pančevu, Smederevu, Obrenovcu, Beogradu i na kontrolnom lokalitetu u junu, avgustu i oktobru

	Zn [mg/kg]		Pančevo			Smederevo			Obrenovac			Beograd			Kontrola		
	Vrsta	M ±SD	Pl	Ps	B	M ±SD	Pl	Ps	B	M ±SD	Pl	Ps	B	M ±SD	Pl	Ps	B
JUN	<i>A. platanoides</i>	14,602 ±0,112	/	***	***	11,123 ±0,503	/	ns	***	16,060 ±0,261	/	***	***	21,631 ±0,286	/	***	***
	<i>A. pseudoplatanus</i>	20,139 ±0,228	***	/	***	13,541 ±0,308	ns	/	***	20,577 ±0,169	***	/	***	26,765 ±0,465	***	/	***
	<i>B. pendula</i>	29,803 ±0,687	***	***	/	20,925 ±0,517	***	***	/	36,684 ±0,688	***	***	/	199,545 ±1,060	***	***	/
AVGUST	<i>A. platanoides</i>	19,359 ±0,775	/	***	***	15,664 ±0,394	/	***	***	22,414 ±0,213	/	*	***	31,144 ±0,310	/	ns	***
	<i>A. pseudoplatanus</i>	30,602 ±0,503	***	/	***	27,976 ±0,623	***	/	***	25,166 ±1,154	*	/	***	32,130 ±0,641	ns	/	***
	<i>B. pendula</i>	24,882 ±0,631	***	***	/	51,292 ±0,730	***	***	/	38,291 ±0,681	***	***	/	332,074 ±4,601	***	***	/
OKTOBAR	<i>A. platanoides</i>	21,456 ±0,394	/	***	***	21,705 ±0,560	/	ns	***	18,153 ±0,799	/	***	***	13,610 ±0,338	/	***	***
	<i>A. pseudoplatanus</i>	31,634 ±1,985	***	/	***	19,525 ±0,164	ns	/	***	40,415 ±0,317	***	/	***	69,685 ±0,312	***	/	***
	<i>B. pendula</i>	39,394 ±0,306	***	***	/	63,673 ±0,674	***	***	/	34,365 ±0,294	***	***	/	344,965 ±2,103	***	***	/

ANOVA, n=5, *p<0,05, **p<0,01, ***p<0,001, ns-nema značajnih razlika

Sadržaj As, Cd, Cr, Li, Ni, Pb, Se u listovima ispitivanih biljaka

Sadržaj Cr u listovima mleča je izmeren u svim sezonskim presecima izuzev u uzorcima iz Beograda u avgustu, i kretao se u opsegu od 0,67 - 5,43 mg/kg na kontrolnom lokalitetu. Najniže koncentracije Cr su na svim ispitivanim lokalitetima izmerene tokom avgusta, a najviše tokom juna u Smederevu, Obrenovcu i kontroli, odnosno tokom oktobra u Pančevu i Beogradu. U listovima javora sadržaj Cr je izmeren samo tokom juna i bio je u opsegu od 1,06 mg/kg u Pančevu do 6,04 mg/kg na kontrolnom lokalitetu. SadržajCr u listovima breze je izmeren tokom cele sezone, osim u avgustu u Beogradu i na kontroli i kretao se u opsegu vrednosti od 0,80 mg/kg u Beogradu do 4,40 mg/kg na kontrolnom lokalitetu.

Sadržaj Ni i Pb u listovima mleča i javora bilo je moguće kvantifikovati samo tokom juna, dok je dalje tokom sezone sadržaj ovih elemenata bio ispod nivoa detekcije aparata. U listovima breze nije bilo moguće kvantifikovati prisustvo Ni i Pb.

Tabela 30. Sadržaj Cr, Ni i Pb u listovima ispitivanih biljaka u Pančevu, Smederevu, Obrenovcu, Beogradu i na kontrolnom lokalitetu u junu, avgustu i oktobru (srednja vrednost $\pm$ st dev, n=5)

<i>Acer platanoides</i>									
Lokalitet	JUN			AVGUST			OKTOBAR		
	Cr	Ni	Pb	Cr	Ni	Pb	Cr	Ni	Pb
Pančevo	1,63 $\pm$ 0,05	1,63 $\pm$ 0,07	1,60 $\pm$ 0,25	1,17 $\pm$ 0,39	/	/	2,0 $\pm$ 0,35	/	/
Smederevo	3,61 $\pm$ 0,53	1,37 $\pm$ 0,10	0,86 $\pm$ 0,15	0,83 $\pm$ 0,12	/	/	2,29 $\pm$ 0,36	/	/
Obrenovac	3,71 $\pm$ 0,31	1,82 $\pm$ 0,04	0,96 $\pm$ 0,14	0,83 $\pm$ 0,01	/	/	2,26 $\pm$ 0,32	/	/
Beograd	1,22 $\pm$ 0,06	1,95 $\pm$ 0,03	1,11 $\pm$ 0,06	/	/	/	1,99 $\pm$ 0,31	/	/
Kontrola	5,43 $\pm$ 0,04	1,89 $\pm$ 0,03	1,40 $\pm$ 0,03	0,67 $\pm$ 0,01	/	/	1,40 $\pm$ 0,30	/	/
<i>Acer pseudoplatanus</i>									
Lokalitet	JUN			AVGUST			OKTOBAR		
	Cr	Ni	Pb	Cr	Ni	Pb	Cr	Ni	Pb
Pančevo	1,06 $\pm$ 0,04	1,40 $\pm$ 0,06	1,17 $\pm$ 0,03	/	/	/	/	/	/
Smederevo	1,99 $\pm$ 0,68	1,54 $\pm$ 0,08	0,96 $\pm$ 0,28	/	/	/	/	/	/
Obrenovac	4,41 $\pm$ 0,14	1,84 $\pm$ 0,05	0,97 $\pm$ 0,28	/	/	/	/	/	/
Beograd	2,63 $\pm$ 0,03	2,30 $\pm$ 0,09	2,30 $\pm$ 0,22	/	/	/	/	/	/
Kontrola	6,04 $\pm$ 0,26	1,91 $\pm$ 0,12	1,10 $\pm$ 0,32	/	/	/	/	/	/
<i>Betula pendula</i>									
Lokalitet	JUN			AVGUST			OKTOBAR		
	Cr	Ni	Pb	Cr	Ni	Pb	Cr	Ni	Pb
Pančevo	1,07 $\pm$ 0,04	/	/	0,83 $\pm$ 0,12	/	/	1,37 $\pm$ 0,18	/	/
Smederevo	0,98 $\pm$ 0,04	/	/	1,10 $\pm$ 0,19	/	/	1,67 $\pm$ 0,33	/	/
Obrenovac	3,28 $\pm$ 0,09	/	/	/	/	/	1,30 $\pm$ 0,19	/	/
Beograd	1,02 $\pm$ 0,05	/	/	0,97 $\pm$ 0,07	/	/	0,80 $\pm$ 0,25	/	/
Kontrola	4,40 $\pm$ 0,11	/	/	/	/	/	1,07 $\pm$ 0,20	/	/

5.2.1.1. Odnos između sadržaja potencijalno toksičnih elemenata u listovima ispitivanih biljaka i zemljišta na kojem rastu

Podaci su analizirani korišćenjem Pirsonovog koeficijenta korelacije (r), a u razmatranje su uzeti samo statistički značajni koeficijenti korelacije ($*p < 0,05$, $**p < 0,01$).

Kada je o mleču reč, statistički značajne pozitivne korelacije između sadržaja elemenata u listovima mleča i njihovog sadržaja u zemljištu na kojem raste u junu su utvrđene u Pančevu između Zn - Zn(z) (0,884*), u Beogradu između B - B(z) (0,900*), i na kontroli između B - B(z) (0,954*), dok su značajne negativne korelacije konstantovane samo u Pančevu između B - B(z) (-0,987**). U avgustu značajne pozitivne korelacije nađene su u Beogradu za Cu - Cu(z) (0,942*) i na kontroli za Fe - Fe(z) (0,902*), dok negativne korelacije nisu konstantovane. U oktobru nije bilo statistički značajnih korelacija između ispitivanih elemenata u listovima mleča i zemljištu na kojem raste.

Kod javora, značajne pozitivne korelacije između sadržaja elemenata u listovima javora i njihovog sadržaja u zemljištu koji ga okružuje nađene su u junu u Smederevu između Fe - Fe(z) (0,888*) i u Beogradu između B - B(z) (0,955*). Značajne negativne korelacije konstantovane su u Obrenovcu za Al - Al(z) (-0,898*) i u Beogradu takođe za Al - Al(z) (-0,961**). Tokom avgusta nije bilo značajnih pozitivnih korelacija, dok su značajne negativne korelacije konstantovane jedino u Smederevu za B - B(z) (-0,950*). Značajne pozitivne korelacije tokom oktobra konstantovane su u Obrenovcu za B - B(z) (0,915*), a značajne negativne u Beogradu između Sr - Sr(z) (-0,898*).

Kod breze, jedine statistički značajne korelacije između sadržaja elemenata u listovima breze i njihovog sadržaja u zemljištu na kojem raste nađene su tokom juna u Obrenovcu između B - B(z) (0,974**) i u oktobru u Pančevu između Fe - Fe(z) (0,919*) i na kontroli između B-B(z) (0,934*). Značajne negativne korelacije su bile ustanovljene jedino u junu u Beogradu između B - B(z) (-0,999).

5.2.2. Sadržaj potencijalno toksičnih elemenata u kori ispitivanih biljaka

Razlike u sadržaju hemijskih elemenata (Al, B, Cu, Fe, Mn, Sr, Zn) u kori ispitivanih vrsta analizirane su na osnovu njihove prostorne i vremenske dinamike u Pančevu, Smederevu, Obrenovcu, Beogradu i kontrolnom lokalitetu (Tabele: 32, 34, 36, 38, 40, 42 i 44). Razlike između vrsta na svakom lokalitetu pojedinačno, prikazane su u Tabelama 33, 35, 37, 39, 41, 43 i 45. Na osnovu trofaktorske analize varijanse (factorial ANOVA) uočeno je da na razlike značajno utiču sva tri faktora varijabilnosti (lokalitet, vrsta, sezona; $p < 0,001$), ali da vrsta ima dominantan uticaj na sadržaj svih elemenata (Tabela 31).

Sadržaj As, Li i Se u kori ispitivanih biljaka je bio ispod granice detekcije instrumenta, dok je sadržaj Cd, Cr, Ni i Pb izmeren u pojedinim sezonskim presecima što podrazumeva da nisu podvrgnuti statističkoj evaluaciji a rezultati su prikazani kao srednje vrednosti i standardne devijacije u Tabeli 46.

Tabela 31. Uticaj faktora varijabilnosti (lokalitet, sezona i vrsta) na razlike u sadržaju hemijskih elemenata u kori ispitivanih biljaka

Hemijski element		Lokalitet	Sezona	Vrsta	Lokalitet* Sezona	Lokalitet *Vrsta	Sezona* Vrsta	Lokalitet *Sezona* Vrsta
Al	F	34065	5885	177065	14847	53077	14856	17913
	p	***	***	***	***	***	***	***
B	F	2121,5	6640,6	18843,8	825,9	997,2	759,8	287,8
	p	***	***	***	***	***	***	***
Cu	F	3565	1281,9	7685	907,3	924,6	297,2	1285,8
	p	***	***	***	***	***	***	***
Fe	F	69036	73116	87497	15189	54711	34537	53573
	p	***	***	***	***	***	***	***
Mn	F	53813	18777	146986	2956	40504	2652	6554
	p	***	***	***	***	***	***	***
Sr	F	40362	6690	319229	11172	11156	1094	13696
	p	***	***	***	***	***	***	***
Zn	F	1122,0	33939,7	65384,9	2652,8	3686,7	3398,0	1288,7
	p	***	***	***	***	***	***	***

Sadržaj aluminijuma (Al) u kori ispitivanih biljaka

U kori mleča tokom vegetacijske sezone sadržaj Al se kretao u veoma širokom opsegu, od 76,253 mg/kg na kontrolnom lokalitetu do 832,188 mg/kg u Smederevu. Kod mleča je uočljivo odsustvo sezone pravilnosti u sadržaju Al. U Pančevu i Obrenovcu,

minimalne koncentracije su izmerene u junu, a na ostalim lokalitetima u oktobru. Najviše vrednosti za celu sezonu u Pančevu i Smederevu su dostignute u avgustu, u Obrenovcu u oktobru i u Beogradu i kontrolnom lokalitetu u junu. Na svim lokalitetima tokom cele sezone, najniže količine Al su izmerene na kontrolnom lokalitetu i one su se značajno razlikovale ($p < 0,001$) u odnosu na ostale lokalitete.

Količina Al u kori javora je varirala takođe u širokom opsegu, u intervalu od 165,587 mg/kg u Pančevu do čak 1274,55 mg/kg u Beogradu. Za razliku od mleča, kod kore javora je uočena određena sezonska pravilnost: u Pančevu, Smederevu i Beogradu maksimumi su dostignuti u oktobru, a u Obrenovcu i kontrolnom lokalitetu u avgustu. Tokom cele sezone postojala je značajna razlika u sadržaju Al između ispitivanih lokaliteta i kontrole ($p < 0,001$).

Sadržaj Al u kori breze se tokom istraživanog perioda kretao od 44,217 mg/kg na kontrolnom lokalitetu do 364,723 mg/kg u Beogradu. Slično mleču, kod breze je uočeno odsustvo sezonske pravilnosti u sadržaju Al. U Pančevu i Smederevu minimalne koncentracije Al su izmerene u junu, a na ostalim lokalitetima u oktobru. Na svim lokalitetima, najviše koncentracije Al za celu sezonu su izmerene u avgustu, jedino je u Smederevu maksimum dostignut u oktobru. I u slučaju breze, svi lokaliteti su tokom cele sezone pokazali značajna odstupanja u poređenju sa kontrolnim lokalitetom ($p < 0,001$).

Upoređujući efikasnost kore ispitivanih vrsta za akumulaciju Al tokom vegetacijske sezone, uočeno je da tokom cele sezone postoje razlike između ispitivanih vrsta ($p < 0,001$). Izuzetak su mleč i breza sa kontrole u avgustu i mleč i javor u oktobru iz Pančeva (ns). Kora breze se izdvaja po nižem sadržaju Al u odnosu na druge dve vrste, a mleč po višem. Izuzetak je javor u Beogradu i na kontrolnom lokalitetu.

Park pored hale Pionir izdvaja se u odnosu na ostale po visokom sadržaju Al u kori javora u junu (1041,77 mg/kg) i oktobru (1274,55 mg/kg). Isto tako, za park u Smederevu je karakterističan visok sadržaj Al u kori mleča tokom juna (549,977 mg/kg) i avgusta (832,188 mg/kg), a za gradski park u Obrenovcu je karakterističan visok sadržaj Al takođe u kori mleča tokom cele sezone.

Sadržaj bora (B) u kori ispitivanih biljaka

Sadržaj B u kori mleča je tokom istraživanja varirao u rasponu od 10,481 mg/kg u Beogradu do 38,628 mg/kg u Smederevu. Uočena je sezonska pravilnost: najmanji sadržaj B u junu a najveći u oktobru na svim lokalitetima pri čemu su svi lokaliteti tokom cele sezone pokazali značajna odstupanja u odnosu na kontrolni lokalitet ($p < 0,001$), izuzev Pančeva u junu (ns).

U kori javora sadržaj B se tokom sezone kretao od 11,482 mg/kg u Pančevu do 30,414 mg/kg u Beogradu. Za razliku od mleča, kod javora je uočena manja sezonska pravilnosti u dostizanju maksimalnih vrednosti. Naime, najmanji sadržaj je izmeren u junu, izuzev u Beogradu gde je minimum zabeležen u avgustu. Maksimalne količine B u kori javora su izmerene u drugom delu sezone, u Pančevu, Smederevu i Beogradu u oktobru, a u Obrenovcu i na kontrolnom lokalitetu u avgustu. I u ovom slučaju, sadržaj B u uzorcima kore sa istraživanih lokaliteta se značajno razlikuje u odnosu na sa kontrolni lokalitet ($p < 0,001$). Izuzetak su slične vrednosti izmerene u kori javora iz Pančeva u junu i iz Obrenovca u oktobru i kontrolnog lokaliteta (ns).

Značajno niže količine B su izmerene u kori breze u odnosu na druge dve vrste. Sadržaj B u kori breze je bio u rasponu od 1,204 mg/kg u Pančevu do 16,636 mg/kg u Smederevu pri čemu je minimalna količina izmerena u junu na svim lokalitetima osim na kontrolnom lokalitetu gde je minimum bio u oktobru. Maksimalne vrednosti B u kori breze dostiže u piku vegetacijske sezone, odnosno u avgustu, osim u Smederevu gde je dostignut u oktobru. Kod svih ispitivanih vrsta, količina B se značajno razlikuje u odnosu na kontrolni lokalitet, izuzev u Smederevu i Obrenovcu u junu, i Pančevu u oktobru (ns).

Upoređujući efikasnost kore ispitivanih vrsta za akumulaciju B, uočeno je da tokom cele sezone postoje razlike između ispitivanih vrsta ($p < 0,001$). Izuzetak su mleč i javor iz Pančeva i sa kontrolnog lokaliteta u junu i iz Obrenovca i Beograda u avgustu (ns). Uočeno je da kora breze zadržava značajno manje B u odnosu na druge dve vrste. Kada je o mleču i javoru reč, sadržaj B varira u zavisnosti od lokaliteta, ali ih generalno odlikuje sličan potencijal za usvajanje B.

Kada je o lokalitetima reč, Smederevo i Obrenovac karakteriše viši sadržaj B u kori mleča tokom cele sezone u odnosu na druge ispitivane lokalitete.

Sadržaj bakra (Cu) u kori ispitivanih biljaka

Sadržaj Cu u kori mleča tokom sezone je bio u intervalu od 7,003 mg/kg u Pančevu do 16,255 mg/kg u Beogradu. Količina Cu u kori mleča se od juna do avgusta povećavala, a zatim ostajala konstantna do kraja sezone, ili se smanjivala kao što je bio slučaj kod uzoraka kore iz Smedereva i kontrolnog lokaliteta. Najniže vrednosti Cu su na svim lokalitetima izmerene u junu, osim u Smederevu, dok su najviše vrednosti bile dostignute u avgustu. Sadržaj Cu se na istraživanim lokalitetima značajno razlikovao u odnosu na kontrolni ($p < 0,001$), izuzev Obrenovca u junu i avgustu i Pančeva u oktobru (ns).

Tokom sezone, sadržaj Cu u kori javora se kretao u intervalu od 3,762 mg/kg u Smederevu do 27,181 mg/kg na kontrolnom lokalitetu, bez izražene sezonske pravilnosti. U Pančevu, Smederevu i Beogradu najniži sadržaj je bio u avgustu, a u Obrenovcu i na kontrolnom lokalitetu u oktobru. Najviše sezonske vrednosti su izmerene u oktobru u Pančevu i Beogradu, u junu u Smederevu, a u Obrenovcu i na kontrolnom lokalitetu u avgustu. Količina Cu se na ispitivanim lokalitetima značajno razlikovala u odnosu na kontrolni lokalitet ($p < 0,001$), izuzev u Pančevu, u oktobru (ns).

Količina Cu u kori breze je bila relativno konstantna od juna do oktobra, osim u Beogradu gde su minimalne vrednosti izmerene u oktobru (4,724 mg/kg) a maksimalne u avgustu (12,496 mg/kg). Sadržaj Cu na ispitivanim lokalitetima je bio sličan kao na kontrolnom lokalitetu (ns), osim u junu i avgustu u Obrenovcu i Beogradu i u oktobru u Smederevu ($p < 0,001$).

Upoređujući sadržaj Cu u kori ispitivanih vrsta, uočava se razlika između vrsta. Izuzetak su tokom juna: mleč i javor u Pančevu, javor i breza u Pančevu i Smederevu, a tokom avgusta takođe javor i breza u Pančevu i javor i mleč u Obrenovcu (ns). Primetan je veći sadržaj ovog elementa u kori mleča u odnosu na druge vrste. Izuzetak je javor iz Beograda i kontrolnog lokaliteta. Takođe je primećeno da kora breze ima najmanju količinu Cu, sa izuzetkom javora iz Smedereva.

Upoređujući staništa, park pored hale Pionir se izdvaja u odnosu na ostala mesta uzorkovanja po višem sadržaju Cu u kori javora tokom juna (17,642 mg/kg) i

oktobra 23,248 mg/kg) i kori mleča tokom avgusta (16,255 mg/kg) i oktobra (15,032mg/kg).

Sadržaj gvožđa (Fe) u kori ispitivanih biljaka

Sadržaj Fe u kori mleča tokom vegetacijske sezone je bio veoma varijabilan i kretao se od 79,557 mg/kg na kontrolnom lokalitetu do 981,439 mg/kg u Smederevu. Nije uočena sezonska pravilnost po ovom parametru. Minimalne vrednosti su izmerene u junu u Pančevu i Obrenovcu, i u Smederevu na kontrolnom lokalitetu u oktobru, i u Beogradu u avgustu. Maksimalna količina Fe u kori mleča, izmerena je u avgustu u Pančevu, Smederevu i kontroli, odnosno u Obrenovcu u oktobru i u Beogradu u junu. Tokom cele sezone uočeno je da postoje značajne razlike u količini usvojenog Fe na ispitivanim lokalitetima u odnosu na kontrolu ($p < 0,001$).

Minimalne i maksimalne vrednosti Fe izmerene su u kori javora iz Beograda, u opsegu od 220,451 mg/kg do 1865,80 mg/kg, bez jasne sezonske dinamike. U Pančevu i Beogradu minimalne koncentracije su izmerene u avgustu, u Smederevu i na kontrolnom lokalitetu u junu, a u Obrenovcu u oktobru. Kora javora je imala najviše Fe na kraju sezone u Pančevu, Smederevu i Beogradu, dok je u Obrenovcu maksimum zabeležen u junu, a na kontroli u avgustu. Uočene su značajne razlike između ispitivanih lokaliteta i kontrole ($p < 0,001$).

Kora breze je za razliku od druge dve ispitivane vrste pokazala određenu pravilnost u dostizanju minimalnih i maksimalnih vrednosti za Fe, i one su tokom sezone varirale od 41,053 mg/kg na kontrolnom lokalitetu do 1669,62 mg/kg u Beogradu. Najniža količina Fe u Pančevu i Smederevu je izmerena u junu, a na ostala tri lokaliteta u oktobru. Maksimumi na svim lokalitetima su dostignuti u piku vegetacijske sezone (avgust), izuzev u Smederevu. Kod breze, kao i kod mleča i javora postoje značajne razlike između ispitivanih lokaliteta i kontrolnog lokaliteta ($p < 0,001$).

Upoređujući sadržaj Fe u kori ispitivanih vrsta, konstantovano je da postoji razlika između vrsta, izuzev javora i mleča iz Smedereva tokom juna i iz Pančeva tokom avgusta. Ne postoji sezonska pravilnost u sadržaju Fe između ispitivanih vrsta, s obzirom da akumulacija elemenata u kori zavisi od niza faktora uključujući morfološke karakteristike kore koje su specifične za vrstu.

Svi lokaliteti su tokom cele sezone pokazali značajna odstupanja u poređenju sa kontrolnim lokalitetom gde je izmeren najmanji sadržaj Fe ($p < 0,001$). Upoređujući lokalitete, primetno je da park pored hale Pionir u Beogradu karakteriše visok sadržaj Fe u kori javora tokom juna (1096,713 mg/kg) i oktobra (1865,80 mg/kg) i u kori breze tokom avgusta (1669,62 mg/kg). Isto tako, visok sadržaj Fe je detektovan i na kontrolnom lokalitetu u kori javora (1669,83 mg/kg) tokom avgusta, ali i u Obrenovcu u kori javora (855,652 mg/kg) tokom juna i u Smederevu u kori mleča (981,439 mg/kg) tokom avgusta.

Sadržaj mangana (Mn) u kori ispitivanih biljaka

Sadržaj Mn varirao je od 48,094 mg/kg u Obrenovcu do 268,598 mg/kg u Beogradu pri čemu su minimalne koncentracije Mn izmerene u junu na svim lokalitetima, osim u Pančevu. Pravilnost je postojala i u dostizanju maksimalnih koncentracija Mn, odnosno kora javora je dosegla maksimum u sredini vegetacijske sezone (avgust) na svim lokalitetima, jedino je u Obrenovcu sadržaj Mn bio neznatno viši u oktobru. Na svim lokalitetima, količina Mn se značajno razlikovala u odnosu na kontrolni lokalitet ($p < 0,001$).

Količina Mn u kori javora se tokom vegetacijske sezone menjala u opsegu od 45,482 - 165,906 mg/kg na kontrolnom lokalitetu. Minimalne vrednosti su izmerene u junu u Pančevu, Smederevu i na kontroli, i u avgustu u Beogradu. Maksimumi su dostignuti u drugom delu sezone, u oktobru u Pančevu i Beogradu i u avgustu u Obrenovcu i na kontrolnom lokalitetu. U oktobru sadržaj Mn je bio sličan u uzorcima iz Obrenovca u odnosu na kontrolni lokalitet (ns), dok se na ostalim lokalitetima značajno razlikovao ($p < 0,001$).

Sadržaj Mn u kori breze kretao se od 7,996 mg/kg u Obrenovcu do 178,217 mg/kg u Pančevu. Uočena je sezonska pravilnost u dostizanju minimalnih i maksimalnih vrednosti pa su tako na svim lokalitetima minimalne koncentracije Mn izmerene u junu, a maksimalne u drugom delu sezone (avgust i oktobar). Sadržaj Mn je u kori breze iz Beograda u junu i iz Smedereva u avgustu bio sličan kao na kontrolnom lokalitetu (ns), dok se na ostalim lokalitetima značajno razlikovao u odnosu na kontrolu ($p < 0,001$).

Upoređujući ispitivane vrste kroz sezonske preseke uočeno je da se vrste međusobno razlikuju ($p < 0,001$), izuzev mleča i javora iz Obrenovca tokom avgusta (ns). Najmanji potencijal za usvajanje Mn imala je kora breze, izuzetak je uzorak javora iz Pančeva, a najveći kora mleča, izuzetak je uzorak kore javora iz Obrenovca i kontrole.

I u ovom slučaju, park pored hale Pionir se izdvaja u odnosu na ostale parkove po višem sadržajem Mn u kori mleča tokom cele sezone i u kori javora tokom juna i oktobra. Zatim, po količini usvojenog Mn se izdvaja kora mleča iz Smedereva. Nasuprot tome, za gradski park u Obrenovcu je karakterističan nizak sadržaj Mn u kori svih ispitivanih vrsta, a posebno u kori breze.

Sadržaj stroncijuma (Sr) u kori ispitivanih biljaka

Količina Sr u listovima mleča se tokom sezone kretala u opsegu od 38.245 mg/kg u Pančevu do 158,138 mg/kg u Beogradu. Kod mleča je uočena sezonska pravilnost u sadržaju Sr. Minimalna količina Sr u kori mleča je izmerena na kraju vegetacijske sezone (u oktobru), jedino je u Beogradu minimum bio u junu. Najviše vrednosti za celu sezonu u Pančevu i Smederevu su bile u junu, a na preostala tri lokaliteta u avgustu. Sadržaj Sr na ispitivanim lokalitetima se tokom cele sezone značajno razlikovao u odnosu na kontrolni lokalitet ($p < 0,001$).

Minimalne i maksimalne vrednosti Sr izmerene su u kori javora sa kontrolnog lokaliteta, u opsegu od 65,157 - 265,597 mg/kg, bez izražene sezonske pravilnosti. U Pančevu, Smederevu i Obrenovcu minimalne koncentracije Sr su izmerene u oktobru, u Beogradu u avgustu, a na kontrolnom lokalitetu u junu. Kora javora je najviše Sr akumulirala u prvom delu sezone, odnosno u Pančevu i Beogradu u junu, a u Smederevu, Obrenovcu i kontroli u avgustu. Količina Sr u kori javora sa svih ispitivanih lokaliteta se značajno razlikovala u odnosu na kontrolni lokalitet ($p < 0,001$).

Tokom vegetacijske sezone, sadržaj Sr u kori breze se kretao u intervalu od 3,264 mg/kg u Pančevu do 21,262 mg/kg u Beogradu. Kod breze je konstantovana pravilnost u dostizanju minimalnih i maksimalnih količina Sr. Maksimalne koncentracije su na svim lokalitetima izmerene u junu, a minimalne u oktobru, jedino je u Smederevu minimum izmeren u avgustu. Za razliku od mleča i javora, kod kojih

postoji značajna razlika između ispitivanih lokaliteta i kontrole to kod breze nije slučaj. Naime, značajne razlike u odnosu na kontrolni lokalitet su konstantovane samo u Beogradu ($p < 0,001$), zatim tokom avgusta u Obrenovcu ($p < 0,001$) i tokom oktobra u Smederevu ($p < 0,001$).

Ispitivane vrste se međusobno razlikuju u količini Sr akumuliranog u kori, izuzetak su mlač i javor iz Obrenovca i Smedereva (ns). Osnovna karakteristika koja koru breze izdvaja od mlača i javora jeste najmanji potencijal za usvajanje Sr, dok se po sposobnosti za usvajanje ovog elementa mlač i javor smenjuju.

I u ovom slučaju park pored hale Pionir u Beogradu karakteriše visok sadržaj Sr u kori javora u junu (265,597 mg/kg) i oktobru (230,742 mg/kg), a zatim i u kori mlača tokom cele sezone (122,260 mg/kg-158,138 mg/kg). Takođe je na kontrolnom lokalitetu u avgustu u kori javora konstantovan visok sadržaj Sr (280,628 mg/kg) što ujedno predstavlja i najvišu izmerenu koncentraciju Sr u kori ispitivanih vrsta.

Sadržaj cinka (Zn) u kori ispitivanih biljaka

Tokom sezone, sadržaj Zn u kori mlača se kretao u veoma širokom opsegu, od svega 1,330 mg/kg u Beogradu pa do 66,999 mg/kg u Pančevu. Kod kore mlača uočena je sezonska pravilnost u sadržaju Zn. Minimalne količine Zn su izmerene u junu, a maksimalne u oktobru, osim na kontrolnom lokalitetu. Tokom juna nije bilo razlike (ns) između ispitivanih lokaliteta i kontrole, međutim tokom avgusta i septembra lokaliteti su se značajno razlikovali ($p < 0,001$) u odnosu na kontrolni lokalitet, osim tokom avgusta u Smederevu (ns).

Sadržaj Zn u kori javora se kretao od 23,287 mg/kg u Pančevu do 154,816 mg/kg u Beogradu, bez jasne sezonske dinamike. Najniže koncentracije Zn na svim lokalitetima su izmerene tokom juna, osim u Beogradu. Sadržaj Zn se povećava od juna do avgusta kada dostiže maksimum u Smederevu, Obrenovcu i kontrolnom lokalitetu, odnosno do oktobra u Pančevu i Beogradu. U Smederevu i Obrenovcu tokom juna, i u Pančevu tokom oktobra nije bilo razlika (ns) u odnosu na kontrolni lokalitet, dok su se ostali lokaliteti tokom cele sezone značajno razlikovali u odnosu na kontrolu ($p < 0,001$).

Sadržaj Zn u kori breze pokazuje rastući trend tokom sezone, sa najnižim izmerenim koncentracijama u junu na kontrolnom lokalitetu (45,783 mg/kg) i najvišim

u oktobru u Pančevu (162,779 mg/kg). Tokom cele sezone sadržaj Zn u kori breze se značajno razlikovao u odnosu na kontrolni lokalitet ($p < 0,001$).

Na nivou vrste, uočljive su razlike, međutim javor i mlač su tokom avgusta u Obrenovcu i Beogradu imali sličan sadržaj Zn u kori (ns). Osnovna karakteristika koja koru breze izdvaja od mlača i javora jeste najveći potencijal za usvajanje Zn, izuzetak je uzorak javora iz Beograda i kontrole. Nije moguće definisati vrstu koju odlikuje najmanji potencijal za usvajanje Zn.

Upoređujući ispitivane lokalitete, moglo se uočiti da parkove u Smederevu i Pančevu u drugom delu sezone i park pored hale Pionir u Beogradu u oktobru, karakteriše visok sadržaj Zn u kori breze. Takođe, park pored hale Pionir u Beogradu u oktobru karakteriše visok sadržaj Zn u kori javora (154,816 mg/kg).

Tabela 32. Prostorna i vremenska dinamika sadržaja Al u kori ispitivanih biljaka u Pančevu, Smederevu, Obrenovcu, Beogradu i na kontrolnom lokalitetu

<i>Acer platanoides</i>																		
Al [mg/kg]	JUN						AVGUST						OKTOBAR					
	M±SD	P	S	O	B	K	M±SD	P	S	O	B	K	M±SD	P	S	O	B	K
Pančevo	194,965±0,812	/	***	***	***	***	518,440±0,725	/	***	***	***	***	333,148±2,895	/	***	***	***	***
Smederevo	549,977±2,500	***	/	ns	***	***	832,188±1,844	***	/	***	***	***	195,575±0,896	***	/	***	***	***
Obrenovac	555,483±3,893	***	ns	/	***	***	672,799±2,548	***	***	/	***	***	758,422±0,930	***	***	/	***	***
Beograd	427,056±2,760	***	***	***	/	***	309,714±1,369	***	***	***	/	***	295,096±0,527	***	***	***	/	***
Kontrola	130,586±1,584	***	***	***	***	/	111,363±0,792	***	***	***	***	/	76,253±1,220	***	***	***	***	/
<i>Acer pseudoplatanus</i>																		
Al [mg/kg]	JUN						AVGUST						OKTOBAR					
	M±SD	P	S	O	B	K	M±SD	P	S	O	B	K	M±SD	P	S	O	B	K
Pančevo	225,948±1,033	/	***	***	***	***	165,587±2,241	/	***	***	***	***	337,657±5,279	/	ns	ns	***	***
Smederevo	246,347±1,918	***	/	***	***	***	225,395±0,739	***	/	***	***	***	332,074±2,354	ns	/	ns	***	***
Obrenovac	384,773±1,180	***	***	/	***	***	686,350±1,952	***	***	/	***	***	333,682±1,873	ns	ns	/	***	***
Beograd	1041,77±3,320	***	***	***	/	***	206,037±1,975	***	***	***	/	***	1274,55±15,315	***	***	***	/	***
Kontrola	460,076±8,396	***	***	***	***	/	961,739±3,317	***	***	***	***	/	788,495±5,208	***	***	***	***	/
<i>Betula pendula</i>																		
Al [mg/kg]	JUN						AVGUST						OKTOBAR					
	M±SD	P	S	O	B	K	M±SD	P	S	O	B	K	M±SD	P	S	O	B	K
Pančevo	61,835±1,032	/	***	***	***	***	199,931±1,741	/	***	***	***	***	104,217±2,065	/	***	***	ns	***
Smederevo	118,261±3,884	***	/	**	***	***	176,132±2,037	***	/	***	***	***	261,824±2,655	***	/	***	***	***
Obrenovac	129,199±2,531	***	**	/	***	***	342,903±3,963	***	***	/	***	***	86,084±3,141	***	***	/	***	***
Beograd	302,061±5,597	***	***	***	/	***	364,723±3,219	***	***	***	/	***	107,010±2,191	ns	***	***	/	***
Kontrola	99,442±2,034	***	***	***	***	/	109,426±0,556	***	***	***	***	/	44,217±1,022	***	***	***	***	/

ANOVA, n=5, *p<0,05, **p<0,01, ***p<0,001, ns-nema značajnih razlika

Tabela 33. Razlike u sadržaju Al u kori ispitivanih biljaka u Pančevu, Smederevu, Obrenovcu, Beogradu i na kontrolnom lokalitetu u junu, avgustu i oktobru

JUN	Al [mg/kg]		Pančevo			Smederevo			Obrenovac			Beograd			Kontrola						
	Vrsta	M±SD	Pl	Ps	B	M±SD	Pl	Ps	B	M±SD	Pl	Ps	B	M±SD	Pl	Ps	B	M±SD	Pl	Ps	B
	A. platanoides	194,965 ±0,812	/	***	***	549,977 ±2,500	/	***	***	555,483 ±3,893	/	***	***	427,056 ±2,760	/	***	***	130,586 ±1,584	/	***	***
	A. pseudoplatanus	225,948 ±1,033	***	/	***	246,347 ±1,918	***	/	***	384,773 ±1,180	***	/	***	1041,77 ±3,320	***	/	***	460,076 ±8,396	***	/	***
	B. pendula	61,835 ±1,032	***	***	/	118,261 ±3,884	***	***	/	129,199 ±2,531	***	***	/	302,061 ±5,597	***	***	/	99,442 ±2,034	***	***	/
AVGUST	Al [mg/kg]		Pančevo			Smederevo			Obrenovac			Beograd			Kontrola						
	Vrsta	M±SD	Pl	Ps	B	M±SD	Pl	Ps	B	M±SD	Pl	Ps	B	M±SD	Pl	Ps	B	M±SD	Pl	Ps	B
	A. platanoides	518,440 ±0,725	/	***	***	832,188 ±1,844	/	***	***	758,422 ±0,930	/	***	***	309,714 ±1,369	/	***	***	111,363 ±0,792	/	***	ns
	A. pseudoplatanus	165,587 ±2,241	***	/	***	225,395 ±0,739	***	/	***	384,773 ±1,180	***	/	***	206,037 ±1,975	***	/	***	961,739 ±3,317	***	/	***
	B. pendula	199,931 ±1,741	***	***	/	176,132 ±2,037	***	***	/	342,903 ±3,963	***	***	/	364,723 ±3,219	***	***	/	109,426 ±0,556	ns	***	/
OKTOBAR	Al [mg/kg]		Pančevo			Smederevo			Obrenovac			Beograd			Kontrola						
	Vrsta	M±SD	Pl	Ps	B	M±SD	Pl	Ps	B	M±SD	Pl	Ps	B	M±SD	Pl	Ps	B	M±SD	Pl	Ps	B
	A. platanoides	333,148 ±2,895	/	ns	***	195,575 ±0,896	/	***	***	758,422 ±0,930	/	***	***	295,096 ±0,527	/	***	***	76,253 ±1,220	/	***	***
	A. pseudoplatanus	337,657 ±5,279	ns	/	***	332,074 ±2,354	***	/	***	333,682 ±1,873	***	/	***	1274,55 ±15,315	***	/	***	788,495 ±5,208	***	/	***
	B. pendula	104,217 ±2,065	***	***	/	261,824 ±2,655	***	***	/	86,084 ±3,141	***	***	/	107,010 ±2,191	***	***	/	44,217 ±1,022	***	***	/

ANOVA, n=5, *p<0,05, **p<0,01, ***p<0,001, ns-nema značajnih razlika

Tabela 34. Prostorna i vremenska dinamika sadržaja B u kori ispitivanih biljaka u Pančevu, Smederevu, Obrenovcu, Beogradu i na kontrolnom lokalitetu

<i>Acer platanoides</i>																		
B [mg/kg]	JUN						AVGUST						OKTOBAR					
	M±SD	P	S	O	B	K	M±SD	P	S	O	B	K	M±SD	P	S	O	B	K
Pančevo	11,142±0,154	/	***	***	ns	ns	16,829±0,288	/	***	***	***	***	17,222±0,448	/	***	***	***	*
Smederevo	19,051±0,203	***	/	***	***	***	24,965±0,681	***	/	***	***	***	38,628±0,839	***	/	***	***	***
Obrenovac	17,066±0,793	***	***	/	***	***	21,609±0,343	***	***	/	***	***	26,655±0,401	***	***	/	***	***
Beograd	10,481±0,459	ns	***	***	/	**	13,050±0,232	***	***	***	/	***	28,254±0,927	***	***	***	/	***
Kontrola	11,778±0,529	ns	***	***	**	/	14,395±0,195	***	***	***	***	/	16,077±0,289	*	***	***	***	/
<i>Acer pseudoplatanus</i>																		
B [mg/kg]	JUN						AVGUST						OKTOBAR					
	M±SD	P	S	O	B	K	M±SD	P	S	O	B	K	M±SD	P	S	O	B	K
Pančevo	11,482±0,072	/	***	***	***	ns	15,289±0,331	/	ns	***	***	***	20,851±0,220	/	ns	***	***	***
Smederevo	13,431±0,705	***	/	ns	***	***	14,627±0,261	ns	/	***	***	***	21,933±0,418	ns	/	***	***	***
Obrenovac	13,382±0,347	***	ns	/	***	***	21,796±0,598	**	***	/	***	***	17,596±0,263	***	***	/	***	ns
Beograd	16,690±0,584	***	***	***	/	***	12,938±0,092	***	***	***	/	***	30,414±0,409	***	***	***	/	***
Kontrola	11,624±0,549	ns	***	***	***	/	23,485±0,327	***	***	***	***	/	18,239±0,431	***	***	ns	***	/
<i>Betula pendula</i>																		
B [mg/kg]	JUN						AVGUST						OKTOBAR					
	M±SD	P	S	O	B	K	M±SD	P	S	O	B	K	M±SD	P	S	O	B	K
Pančevo	1,204±0,081	/	***	***	***	***	4,642±0,153	/	***	***	***	ns	2,985±0,242	/	***	***	***	ns
Smederevo	5,014±0,282	***	/	ns	***	ns	7,810±0,309	***	/	***	***	***	16,636±0,556	***	/	***	***	***
Obrenovac	4,119±0,124	***	ns	/	***	ns	9,425±0,343	***	***	/	***	***	5,603±0,207	***	***	/	***	***
Beograd	9,023±0,203	***	***	***	/	***	14,536±0,148	***	***	***	/	***	11,960±0,344	***	***	***	/	***
Kontrola	4,550±0,237	***	ns	ns	***	/	5,643±0,241	***	***	***	***	/	3,504±0,342	ns	***	***	***	/

ANOVA, n=5, *p<0,05, **p<0,01, ***p<0,001, ns-nema značajnih razlika

Tabela 35. Razlike u sadržaju B u kori ispitivanih biljaka u Pančevu, Smederevu, Obrenovcu, Beogradu i na kontrolnom lokalitetu u junu, avgustu i oktobru

JUN	B [mg/kg]		Pančevo			Smederevo			Obrenovac			Beograd			Kontrola						
	Vrsta	M±SD	Pl	Ps	B	M±SD	Pl	Ps	B	M±SD	Pl	Ps	B	M±SD	Pl	Ps	B	M±SD	Pl	Ps	B
	A. platanoides	11,142 ±0,154	/	ns	***	19,051 ±0,203	/	***	***	17,066 ±0,793	/	***	***	10,481 ±0,459	/	***	***	11,778 ±0,529	/	ns	***
A. pseudoplatanus	11,482 ±0,072	ns	/	***	13,431 ±0,705	***	/	***	13,382 ±0,347	***	/	***	16,690 ±0,584	***	/	***	11,624 ±0,549	ns	/	***	
	1,204 ±0,081	***	***	/	5,014 ±0,282	***	***	/	4,119 ±0,124	***	***	/	9,023 ±0,203	***	***	/	4,550 ±0,237	***	***	/	
AVGUST	B [mg/kg]		Pančevo			Smederevo			Obrenovac			Beograd			Kontrola						
	Vrsta	M±SD	Pl	Ps	B	M±SD	Pl	Ps	B	M±SD	Pl	Ps	B	M±SD	Pl	Ps	B	M±SD	Pl	Ps	B
	A. platanoides	16,829 ±0,288	/	***	***	24,965 ±0,681	/	***	***	21,609 ±0,343	/	ns	***	13,050 ±0,232	/	ns	***	14,395 ±0,195	/	***	***
A. pseudoplatanus	15,289 ±0,331	***	/	***	14,627 ±0,261	***	/	***	21,796 ±0,598	ns	/	***	12,938 ±0,092	ns	/	***	23,485 ±0,327	***	/	***	
	4,642 ±0,153	***	***	/	7,810 ±0,309	***	***	/	9,425 ±0,343	***	***	/	14,536 ±0,148	***	***	/	5,643 ±0,241	***	***	/	
OKTOBAR	B [mg/kg]		Pančevo			Smederevo			Obrenovac			Beograd			Kontrola						
	Vrsta	M±SD	Pl	Ps	B	M±SD	Pl	Ps	B	M±SD	Pl	Ps	B	M±SD	Pl	Ps	B	M±SD	Pl	Ps	B
	A. platanoides	17,222 ±0,448	/	***	***	38,628 ±0,839	/	***	***	26,655 ±0,401	/	***	***	28,254 ±0,927	/	***	***	16,077 ±0,289	/	***	***
A. pseudoplatanus	20,851 ±0,220	***	/	***	21,933 ±0,418	***	/	***	17,596 ±0,263	***	/	***	30,414 ±0,409	***	/	***	18,239 ±0,431	***	/	***	
	2,985 ±0,242	***	***	/	16,636 ±0,556	***	***	/	5,603 ±0,207	***	***	/	11,960 ±0,344	***	***	/	3,504 ±0,342	***	***	/	

ANOVA, n=5, *p<0,05, **p<0,01, ***p<0,001, ns-nema značajnih razlika

Tabela 36. Prostorna i vremenska dinamika sadržaja Cu u kori ispitivanih biljaka u Pančevu, Smederevu, Obrenovcu, Beogradu i na kontrolnom lokalitetu

<i>Acer platanoides</i>																		
Cu [mg/kg]	JUN						AVGUST						OKTOBAR					
	M±SD	P	S	O	B	K	M±SD	P	S	O	B	K	M±SD	P	S	O	B	K
Pančevo	7,003±0,312	/	***	***	***	***	12,536±0,275	/	***	***	***	***	11,091±0,388	/	***	***	***	ns
Smederevo	8,341±0,342	***	/	***	***	***	10,248±0,395	***	/	***	***	***	7,654±0,243	***	/	***	***	***
Obrenovac	10,341±0,499	***	***	/	***	ns	14,520±0,087	***	***	/	***	ns	14,230±0,182	***	***	/	*	***
Beograd	11,668±0,496	***	***	***	/	***	16,255±0,250	***	***	***	/	***	15,032±0,350	***	***	*	/	***
Kontrola	10,456±0,586	***	***	ns	***	/	14,338±0,418	***	***	ns	***	/	11,164±0,235	ns	***	***	***	/
<i>Acer pseudoplatanus</i>																		
Cu [mg/kg]	JUN						AVGUST						OKTOBAR					
	M±SD	P	S	O	B	K	M±SD	P	S	O	B	K	M±SD	P	S	O	B	K
Pančevo	6,272±0,169	/	ns	*	***	***	6,091±0,218	/	***	***	***	***	7,539±0,281	/	***	***	***	ns
Smederevo	5,553±0,103	ns	/	***	***	***	3,762±0,027	***	/	***	***	***	3,833±0,160	***	/	***	***	***
Obrenovac	7,079±0,193	*	***	/	***	***	14,591±0,276	**	***	/	***	***	5,213±0,358	***	***	/	***	***
Beograd	17,642±0,360	***	***	***	/	***	5,046±0,229	***	***	***	/	***	23,248±0,216	***	***	***	/	***
Kontrola	9,418±0,477	***	****	***	***	/	27,181±0,382	***	***	***	***	/	7,290±0,145	ns	***	***	***	/
<i>Betula pendula</i>																		
Cu [mg/kg]	JUN						AVGUST						OKTOBAR					
	M±SD	P	S	O	B	K	M±SD	P	S	O	B	K	M±SD	P	S	O	B	K
Pančevo	5,550±0,198	/	ns	***	***	ns	5,653±0,301	/	ns	***	***	ns	5,003±0,084	/	*	***	ns	ns
Smederevo	5,587±0,132	ns	/	***	***	ns	5,194±0,419	ns	/	ns	***	ns	5,805±0,042	*	/	***	***	***
Obrenovac	4,156±0,085	***	***	/	***	***	4,504±0,186	***	ns	/	***	***	3,839±0,118	***	***	/	**	ns
Beograd	9,253±0,377	***	***	***	/	***	12,496±0,295	***	***	***	/	***	4,724±0,164	ns	***	**	/	ns
Kontrola	5,952±0,184	ns	ns	***	***	/	5,956±0,170	ns	ns	***	***	/	4,240±0,441	ns	***	ns	ns	/

ANOVA, n=5, *p<0,05, **p<0,01, ***p<0,001, ns-nema značajnih razlika

Tabela 37. Razlike u sadržaju Cu u kori ispitivanih biljaka u Pančevu, Smederevu, Obrenovcu, Beogradu i na kontrolnom lokalitetu u junu, avgustu i oktobru

	Cu [mg/kg]		Pančevo			Smederevo			Obrenovac			Beograd			Kontrola		
	Vrsta	M±SD	Pl	Ps	B	M±SD	Pl	Ps	B	M±SD	Pl	Ps	B	M±SD	Pl	Ps	B
JUN	<i>A. platanoides</i>	7,003 ±0,312	/	ns	***	8,341 ±0,342	/	***	***	10,341 ±0,499	/	***	***	11,668 ±0,496	/	***	***
	<i>A. pseudoplatanus</i>	6,272 ±0,169	ns	/	ns	5,553 ±0,103	***	/	ns	7,079 ±0,193	***	/	***	17,642 ±0,360	***	/	***
	<i>B. pendula</i>	5,550 ±0,198	***	ns	/	5,587 ±0,132	***	ns	/	4,156 ±0,085	***	***	/	9,253 ±0,377	***	***	/
AVGUST	<i>A. platanoides</i>	12,536 ±0,275	/	***	***	10,248 ±0,395	/	***	***	14,520 ±0,087	/	ns	***	16,255 ±0,250	/	***	***
	<i>A. pseudoplatanus</i>	6,091 ±0,218	***	/	ns	3,762 ±0,027	***	/	***	14,591 ±0,276	ns	/	***	5,046 ±0,229	***	/	***
	<i>B. pendula</i>	5,653 ±0,301	***	ns	/	5,194 ±0,419	***	***	/	4,504 ±0,186	***	***	/	12,496 ±0,295	***	***	/
OKTOBAR	<i>A. platanoides</i>	11,091 ±0,388	/	***	***	7,654 ±0,243	/	***	***	14,230 ±0,182	/	***	***	15,032 ±0,350	/	***	***
	<i>A. pseudoplatanus</i>	7,539 ±0,281	***	/	***	3,833 ±0,160	***	/	***	5,213 ±0,358	***	/	***	23,248 ±0,216	***	/	***
	<i>B. pendula</i>	5,003 ±0,084	***	***	/	5,805 ±0,042	***	***	/	3,839 ±0,118	***	***	/	4,724 ±0,164	***	***	/

ANOVA, n=5, *p<0,05, **p<0,01, ***p<0,001, ns-nema značajnih razlika

Tabela 38. Prostorna i vremenska dinamika sadržaja Fe u kori ispitivanih biljaka u Pančevu, Smederevu, Obrenovcu, Beogradu i na kontrolnom lokalitetu

<i>Acer platanoides</i>																		
Fe [mg/kg]	JUN						AVGUST						OKTOBAR					
	M±SD	P	S	O	B	K	M±SD	P	S	O	B	K	M±SD	P	S	O	B	K
Pančevo	168,559±0,559	/	***	***	***	***	734,788±3,056	/	***	***	***	***	471,406±1,004	/	***	***	***	***
Smederevo	573,543±1,479	**	/	***	***	***	981,439±3,394	***	/	***	***	***	320,687±0,736	***	/	***	***	***
Obrenovac	354,250±3,677	***	***	/	***	***	621,663±1,571	***	***	/	***	***	675,112±1,397	***	***	/	***	***
Beograd	480,818±3,724	***	***	***	/	***	439,026±0,963	***	***	***	/	***	445,561±1,085	***	***	***	/	***
Kontrola	117,553±1,805	***	***	***	***	/	133,547±0,678	***	***	***	***	/	79,557±1,381	***	***	***	***	/
<i>Acer pseudoplatanus</i>																		
Fe [mg/kg]	JUN						AVGUST						OKTOBAR					
	M±SD	P	S	O	B	K	M±SD	P	S	O	B	K	M±SD	P	S	O	B	K
Pančevo	228,928±1,069	/	***	***	***	***	225,562±1,309	/	***	***	ns	***	453,025±3,539	/	***	***	***	***
Smederevo	340,289±1,005	***	/	***	***	***	418,731±2,163	***	/	***	***	***	484,526±1,654	***	/	***	***	***
Obrenovac	855,652±2,026	***	***	/	***	***	643,818±3,072	***	***	/	***	***	298,899±1,827	***	***	/	***	***
Beograd	1096,713±1,110	***	***	***	/	***	220,451±1,972	ns	***	***	/	***	1865,80±14,014	***	***	***	/	***
Kontrola	423,838±12,279	***	***	***	***	/	1669,83±5,557	***	***	***	***	/	756,144±9,172	***	***	***	***	/
<i>Betula pendula</i>																		
Fe [mg/kg]	JUN						AVGUST						OKTOBAR					
	M±SD	P	S	O	B	K	M±SD	P	S	O	B	K	M±SD	P	S	O	B	K
Pančevo	83,460±0,694	/	***	***	***	***	232,315±2,489	/	***	***	***	***	106,695±2,500	/	***	ns	***	***
Smederevo	340,400±2,260	***	/	***	***	***	572,034±1,934	***	/	***	***	***	807,940±3,518	***	/	***	***	***
Obrenovac	113,819±2,996	***	***	/	***	***	357,192±2,660	***	***	/	***	***	101,495±0,889	ns	***	/	***	***
Beograd	435,758±5,493	***	***	***	/	***	1669,62±11,733	***	***	***	/	***	152,844±3,296	***	***	***	/	***
Kontrola	130,019±2,850	***	***	***	***	/	749,434±2,917	***	***	***	***	/	41,053±0,503	***	***	***	***	/

ANOVA, n=5, *p<0,05, **p<0,01, ***p<0,001, ns-nema značajnih razlika

Tabela 39. Razlike u sadržaju Fe u kori ispitivanih biljaka u Pančevu, Smederevu, Obrenovcu, Beogradu i na kontrolnom lokalitetu u junu, avgustu i oktobru

	Fe [mg/kg]		Pančevo			Smederevo			Obrenovac			Beograd			Kontrola		
	Vrsta	M±SD	Pl	Ps	B	M±SD	Pl	Ps	B	M±SD	Pl	Ps	B	M±SD	Pl	Ps	B
JUN	<i>A. platanoides</i>	168,559 ±0,559	/	***	***	573,543 ±1,479	/	***	***	354,250 ±3,677	/	***	***	480,818 ±3,724	/	***	***
	<i>A. pseudoplatanus</i>	228,928 ±1,069	***	/	***	340,289 ±1,005	***	/	ns	855,652 ±2,026	***	/	***	1096,713 ±1,110	***	/	***
	<i>B. pendula</i>	83,460 ±0,694	***	***	/	340,400 ±2,260	***	ns	/	113,819 ±2,996	***	***	/	435,758 ±5,493	***	***	/
AVGUST	<i>A. platanoides</i>	734,788 ±3,056	/	***	***	981,439 ±3,394	/	***	***	621,663 ±1,571	/	***	***	439,026 ±0,963	/	***	***
	<i>A. pseudoplatanus</i>	225,562 ±1,309	***	/	ns	418,731 ±2,163	***	/	***	643,818 ±3,072	***	/	***	220,451 ±1,972	***	/	***
	<i>B. pendula</i>	232,315 ±2,489	***	ns	/	572,034 ±1,934	***	***	/	357,192 ±2,660	***	***	/	1669,62 ±11,733	***	***	/
OKTOBAR	<i>A. platanoides</i>	471,406 ±1,004	/	***	***	320,687 ±0,736	/	***	***	675,112 ±1,397	/	***	***	445,561 ±1,085	/	***	***
	<i>A. pseudoplatanus</i>	453,025 ±3,539	***	/	***	484,526 ±1,654	***	/	***	298,899 ±1,827	***	/	***	1865,80 ±14,014	***	/	***
	<i>B. pendula</i>	106,695 ±2,500	***	***	/	807,940 ±3,518	***	***	/	101,495 ±0,889	***	***	/	152,844 ±3,296	***	***	/

ANOVA, n=5, *p<0,05, **p<0,01, ***p<0,001, ns-nema značajnih razlika

Tabela 40. Prostorna i vremenska dinamika sadržaja Mn u kori ispitivanih biljaka u Pančevu, Smederevu, Obrenovcu, Beogradu i na kontrolnom lokalitetu

<i>Acer platanoides</i>																		
Mn [mg/kg]	JUN						AVGUST						OKTOBAR					
	M±SD	P	S	O	B	K	M±SD	P	S	O	B	K	M±SD	P	S	O	B	K
Pančevo	112,605 ±1,038	/	***	***	***	***	121,850 ±0,790	/	***	***	***	***	100,139 ±0,899	/	***	***	***	***
Smederevo	98,228 ±0,556	***	/	***	***	***	132,792 ±2,193	***	/	***	***	***	131,773 ±0,785	***	/	***	***	***
Obrenovac	48,094 ±1,039	***	***	/	***	***	75,095 ±0,723	***	***	/	***	***	79,682 ±0,464	***	***	/	***	***
Beograd	145,623 ±1,797	***	***	***	/	***	268,598 ±1,085	***	***	***	/	***	244,449 ±0,699	***	***	***	/	***
Kontrola	63,183 ±0,681	***	***	***	***	/	96,328 ±0,328	***	***	***	***	/	82,439 ±0,867	***	***	***	***	/
<i>Acer pseudoplatanus</i>																		
Mn [mg/kg]	JUN						AVGUST						OKTOBAR					
	M±SD	P	S	O	B	K	M±SD	P	S	O	B	K	M±SD	P	S	O	B	K
Pančevo	72,271 ±0,457	/	*	***	***	***	91,857 ±1,209	/	***	***	***	***	92,618 ±1,169	/	***	***	***	***
Smederevo	69,841 ±0,663	*	/	***	***	***	67,847 ±0,259	***	/	***	***	***	67,172 ±1,066	***	/	***	***	***
Obrenovac	52,738 ±0,536	***	***	/	***	***	75,370 ±0,798	***	***	/	***	***	61,939 ±1,066	***	***	/	***	ns
Beograd	121,913 ±1,009	***	***	***	/	***	59,823 ±0,657	***	***	***	/	***	164,864 ±0,906	***	***	***	/	***
Kontrola	45,482 ±0,632	***	***	***	***	/	165,906 ±0,806	***	***	***	***	/	61,063 ±0,435	***	***	ns	***	/
<i>Betula pendula</i>																		
Mn [mg/kg]	JUN						AVGUST						OKTOBAR					
	M±SD	P	S	O	B	K	M±SD	P	S	O	B	K	M±SD	P	S	O	B	K
Pančevo	106,042 ±1,835	/	***	***	***	***	140,147 ±0,674	/	***	***	***	***	178,217 ±1,955	/	***	***	***	***
Smederevo	16,079±0,506	***	/	***	***	***	20,507 ±0,511	***	/	***	***	ns	20,431 ±0,547	***	/	***	***	***
Obrenovac	7,996 ±0,089	***	***	/	***	***	11,966 ±0,318	***	***	/	***	***	9,624 ±0,294	***	***	/	ns	***
Beograd	11,978 ±0,321	***	***	***	/	ns	16,835 ±0,116	***	***	***	/	***	11,359 ±0,347	***	***	ns	/	***
Kontrola	13,314 ±0,337	***	***	***	ns	/	19,927 ±0,480	***	ns	***	***	/	32,823 ±0,320	***	***	***	***	/

ANOVA, n=5, *p<0,05, **p<0,01, ***p<0,001, ns-nema značajnih razlika

Tabela 41. Razlike u sadržaju Mn u kori ispitivanih biljaka u Pančevu, Smederevu, Obrenovcu, Beogradu i na kontrolnom lokalitetu u junu, avgustu i oktobru

	Mn [mg/kg]		Pančevo			Smederevo			Obrenovac			Beograd			Kontrola		
	Vrsta	M±SD	Pl	Ps	B	M±SD	Pl	Ps	B	M±SD	Pl	Ps	B	M±SD	Pl	Ps	B
JUN	<i>A. platanoides</i>	112,605 ±1,038	/	***	***	98,228 ±0,556	/	***	***	48,094 ±1,039	/	***	***	145,623 ±1,797	/	***	***
	<i>A. pseudoplatanus</i>	72,271 ±0,457	***	/	***	69,841 ±0,663	***	/	***	52,738 ±0,536	***	/	***	121,913 ±1,009	***	/	***
	<i>B. pendula</i>	106,042 ±1,835	***	***	/	16,079 ±0,506	***	***	/	7,996 ±0,089	***	***	/	11,978 ±0,321	***	***	/
	Mn [mg/kg]		Pančevo			Smederevo			Obrenovac			Beograd			Kontrola		
	Vrsta	M±SD	Pl	Ps	B	M±SD	Pl	Ps	B	M±SD	Pl	Ps	B	M±SD	Pl	Ps	B
AVGUST	<i>A. platanoides</i>	121,850 ±0,790	/	***	***	132,792 ±2,193	/	***	***	75,095 ±0,723	/	ns	***	268,598 ±1,085	/	***	***
	<i>A. pseudoplatanus</i>	91,857 ±1,209	***	/	***	67,847 ±0,259	***	/	***	75,370 ±0,798	ns	/	***	59,823 ±0,657	***	/	***
	<i>B. pendula</i>	140,47 ±0,674	***	***	/	20,507 ±0,511	***	***	/	11,966 ±0,318	***	***	/	16,835 ±0,116	***	***	/
	Mn [mg/kg]		Pančevo			Smederevo			Obrenovac			Beograd			Kontrola		
	Vrsta	M±SD	Pl	Ps	B	M±SD	Pl	Ps	B	M±SD	Pl	Ps	B	M±SD	Pl	Ps	B
OKTOBAR	<i>A. platanoides</i>	100,139 ±0,899	/	***	***	131,773 ±0,785	/	***	***	79,682 ±0,464	/	***	***	244,449 ±0,699	/	***	***
	<i>A. pseudoplatanus</i>	92,618 ±1,169	***	/	***	67,172 ±1,066	***	/	***	61,939 ±1,066	***	/	***	164,864 ±0,906	***	/	***
	<i>B. pendula</i>	178,217 ±1,955	***	***	/	20,431 ±0,547	***	***	/	9,624 ±0,294	***	***	/	11,359 ±0,347	***	***	/

ANOVA, n=5, *p<0,05, **p<0,01, ***p<0,001, ns-nema značajnih razlika

Tabela 42. Prostorna i vremenska dinamika sadržaja Sr u kori ispitivanih biljaka u Pančevu, Smederevu, Obrenovcu, Beogradu i na kontrolnom lokalitetu

<i>Acer platanoides</i>																		
Sr [mg/kg]	JUN						AVGUST						OKTOBAR					
	M±SD	P	S	O	B	K	M±SD	P	S	O	B	K	M±SD	P	S	O	B	K
Pančevo	65,891 ±0,270	/	***	***	***	***	47,481 ±0,498	/	***	***	***	***	38,245 ±0,692	/	***	***	***	***
Smederevo	100,220 ±0,943	***	/	***	***	***	94,314 ±1,450	***	/	***	***	***	72,139 ±1,477	***	/	ns	***	***
Obrenovac	92,621 ±1,141	***	***	/	***	***	100,589 ±0,436	***	***	/	***	***	74,422 ±0,651	***	ns	/	***	***
Beograd	122,260 ±3,128	***	***	***	/	***	158,138 ±0,676	***	***	***	/	***	130,478 ±0,674	***	***	***	/	***
Kontrola	77,756 ±0,460	***	***	***	***	/	79,398 ±0,483	***	***	***	***	/	62,289 ±0,408	***	***	***	***	/
<i>Acer pseudoplatanus</i>																		
Sr [mg/kg]	JUN						AVGUST						OKTOBAR					
	M±SD	P	S	O	B	K	M±SD	P	S	O	B	K	M±SD	P	S	O	B	K
Pančevo	86,218 ±1,107	/	***	***	***	***	85,370 ±0,847	/	***	***	***	***	79,541 ±0,584	/	***	***	***	***
Smederevo	102,366 ±0,726	***	/	***	***	***	105,368 ±0,656	***	/	***	***	***	99,526 ±0,538	***	/	***	***	***
Obrenovac	92,044 ±0,769	***	***	/	***	***	101,071 ±0,824	***	***	/	***	***	75,407 ±1,024	***	***	/	***	***
Beograd	265,597 ±0,900	***	***	***	/	***	96,688 ±1,068	***	***	***	/	***	230,742 ±1,739	***	***	***	/	***
Kontrola	59,654 ±0,560	***	***	***	***	/	280,628 ±1,060	***	***	***	***	/	65,157 ±1,233	***	***	***	***	/
<i>Betula pendula</i>																		
Sr [mg/kg]	JUN						AVGUST						OKTOBAR					
	M±SD	P	S	O	B	K	M±SD	P	S	O	B	K	M±SD	P	S	O	B	K
Pančevo	10,033 ±0,180	/	***	***	***	ns	5,582 ±0,161	/	*	***	***	ns	3,264 ±0,154	/	***	ns	***	ns
Smederevo	13,172 ±0,626	***	/	ns	***	ns	7,931 ±0,356	*	/	*	***	ns	9,126 ±0,364	***	/	***	***	***
Obrenovac	13,160 ±0,123	***	ns	/	***	ns	10,435 ±0,338	***	*	/	***	***	3,535 ±0,379	ns	***	/	***	ns
Beograd	21,262 ±0,437	***	***	***	/	***	18,248 ±0,452	***	***	***	/	***	9,891 ±0,266	***	ns	***	/	***
Kontrola	12,271 ±0,358	ns	ns	ns	***	/	6,945 ±0,184	ns	ns	***	***	/	4,294 ±0,289	ns	***	ns	***	/

ANOVA, n=5, *p<0,05, **p<0,01, ***p<0,001, ns-nema značajnih razlika

Tabela 43. Razlike u sadržaju Sr u kori ispitivanih biljaka u Pančevu, Smederevu, Obrenovcu, Beogradu i na kontrolnom lokalitetu u junu, avgustu i oktobru

	Sr [mg/kg]		Pančevo			Smederevo			Obrenovac			Beograd			Kontrola		
	Vrsta	M±SD	Pl	Ps	B	M±SD	Pl	Ps	B	M±SD	Pl	Ps	B	M±SD	Pl	Ps	B
JUN	<i>A. platanoides</i>	65,891 ±0,270	/	***	***	100,220 ±0,943	/	ns	***	92,621 ±1,141	/	ns	***	122,260 ±3,128	/	***	***
	<i>A. pseudoplatanus</i>	86,218 ±1,107	***	/	***	102,366 ±0,726	ns	/	***	92,044 ±0,769	ns	/	***	265,597 ±0,900	***	/	***
	<i>B. pendula</i>	10,033 ±0,180	***	***	/	13,172 ±0,626	***	***	/	13,160 ±0,123	***	***	/	21,262 ±0,437	***	***	/
AVGUST	<i>A. platanoides</i>	47,481 ±0,498	/	***	***	94,314 ±1,450	/	**	***	100,589 ±0,436	/	ns	***	158,138 ±0,676	/	***	***
	<i>A. pseudoplatanus</i>	85,370 ±0,847	***	/	***	105,368 ±0,656	***	/	***	101,071 ±0,824	ns	/	***	96,688 ±1,068	***	/	***
	<i>B. pendula</i>	5,582 ±0,161	***	***	/	7,931 ±0,356	***	***	/	10,435 ±0,338	***	***	/	18,248 ±0,452	***	***	/
OKTOBAR	<i>A. platanoides</i>	38,245 ±0,692	/	***	***	72,139 ±1,477	/	***	***	74,422 ±0,651	/	ns	***	130,478 ±0,674	/	***	***
	<i>A. pseudoplatanus</i>	79,541 ±0,584	***	/	***	99,526 ±0,538	***	/	***	75,407 ±1,024	ns	/	***	230,742 ±1,739	***	/	***
	<i>B. pendula</i>	3,264 ±0,154	***	***	/	9,126 ±0,364	***	***	/	3,535 ±0,379	***	***	/	9,891 ±0,266	***	***	/

ANOVA, n=5, *p<0,05, **p<0,01, ***p<0,001, ns-nema značajnih razlika

Tabela 44. Prostorna i vremenska dinamika sadržaja Zn u kori ispitivanih biljaka u Pančevu, Smederevu, Obrenovcu, Beogradu i na kontrolnom lokalitetu

<i>Acer platanoides</i>																		
Zn [mg/kg]	JUN						AVGUST						OKTOBAR					
	M±SD	P	S	O	B	K	M±SD	P	S	O	B	K	M±SD	P	S	O	B	K
Pančevo	1,633 ±0,062	/	ns	ns	ns	ns	51,572 ±0,787	/	***	ns	***	***	66,999 ±1,999	/	ns	***	***	***
Smederevo	2,394 ±0,087	ns	/	ns	ns	ns	59,302 ±0,347	***	/	***	***	ns	65,137 ±1,342	ns	/	ns	***	***
Obrenovac	2,071 ±0,023	ns	ns	/	ns	ns	51,903 ±0,375	ns	***	/	***	***	62,238 ±0,661	***	ns	/	***	***
Beograd	1,330 ±0,076	ns	ns	ns	/	ns	24,151 ±0,479	***	***	***	/	***	31,862 ±0,884	***	***	***	/	***
Kontrola	2,071 ±0,023	ns	ns	ns	ns	/	58,969 ±0,232	***	ns	***	***	/	53,310 ±0,386	***	***	***	***	/
<i>Acer pseudoplatanus</i>																		
Zn [mg/kg]	JUN						AVGUST						OKTOBAR					
	M±SD	P	S	O	B	K	M±SD	P	S	O	B	K	M±SD	P	S	O	B	K
Pančevo	23,287 ±0,360	/	***	***	***	***	32,229 ±0,408	/	*	***	***	***	46,466 ±1,686	/	***	***	***	ns
Smederevo	30,670 ±0,219	***	/	ns	***	ns	35,855 ±0,533	*	/	***	***	***	35,462 ±0,970	***	/	ns	***	***
Obrenovac	28,463 ±0,210	***	ns	/	***	ns	52,392 ±0,453	***	***	/	***	***	34,694 ±1,159	***	ns	/	***	***
Beograd	81,533 ±1,208	***	***	***	/	***	26,858 ±0,801	***	***	***	/	***	154,816 ±1,234	***	***	***	/	***
Kontrola	29,683 ±0,888	***	ns	ns	***	/	126,112 ±1,038	***	***	***	***	/	46,830 ±0,700	ns	***	***	***	/
<i>Betula pendula</i>																		
Zn [mg/kg]	JUN						AVGUST						OKTOBAR					
	M±SD	P	S	O	B	K	M±SD	P	S	O	B	K	M±SD	P	S	O	B	K
Pančevo	72,040 ±0,689	/	ns	***	ns	***	135,375 ±0,714	/	***	***	***	***	162,779 ±1,023	/	ns	***	ns	***
Smederevo	73,346 ±1,125	ns	/	***	ns	***	145,415 ±3,454	***	/	***	***	***	162,694 ±2,278	ns	/	***	ns	***
Obrenovac	53,696 ±0,649	***	***	/	***	***	85,880 ±1,255	***	***	/	***	***	127,027 ±12,796	***	***	/	***	***
Beograd	74,417 ±0,541	ns	ns	***	/	***	105,060 ±0,374	***	***	***	/	***	160,153 ±4,500	ns	ns	***	/	***
Kontrola	45,783 ±0,824	***	***	***	***	/	116,032 ±0,028	***	***	***	***	/	120,596 ±0,751	***	***	***	***	/

ANOVA, n=5, *p<0,05, **p<0,01, ***p<0,001, ns-nema značajnih razlika

Tabela 45. Razlike u sadržaju Zn u kori ispitivanih biljaka u Pančevu, Smederevu, Obrenovcu, Beogradu i na kontrolnom lokalitetu u junu, avgustu i oktobru

	Zn [mg/kg]		Pančevo			Smederevo			Obrenovac			Beograd			Kontrola		
	Vrsta	M±SD	Pl	Ps	B	M±SD	Pl	Ps	B	M±SD	Pl	Ps	B	M±SD	Pl	Ps	B
JUN	<i>A. platanoides</i>	1,633 ±0,062	/	***	***	2,394 ±0,087	/	***	***	2,071 ±0,023	/	***	***	1,330 ±0,076	/	***	***
	<i>A. pseudoplatanus</i>	23,287 ±0,360	***	/	***	30,670 ±0,219	***	/	***	28,463 ±0,210	***	/	***	81,533 ±1,208	***	/	***
	<i>B. pendula</i>	72,040 ±0,689	***	***	/	73,346 ±1,125	***	***	/	53,696 ±0,649	***	***	/	74,417 ±0,541	***	***	/
AVGUST	<i>A. platanoides</i>	51,572 ±0,787	/	***	***	59,302 ±0,347	/	***	***	51,903 ±0,375	/	ns	***	24,151 ±0,479	/	ns	***
	<i>A. pseudoplatanus</i>	32,229 ±0,408	***	/	***	35,855 ±0,533	***	/	***	52,392 ±0,453	ns	/	***	26,858 ±0,801	ns	/	***
	<i>B. pendula</i>	135,375 ±0,714	***	***	/	145,415 ±3,454	***	***	/	85,880 ±1,255	***	***	/	105,060 ±0,374	***	***	/
OKTOBAR	<i>A. platanoides</i>	66,999 ±1,999	/	***	***	65,137 ±1,342	/	***	***	62,238 ±0,661	/	***	***	31,862 ±0,884	/	***	***
	<i>A. pseudoplatanus</i>	46,466 ±1,686	***	/	***	35,462 ±0,970	***	/	***	34,694 ±1,159	***	/	***	154,816 ±1,234	***	/	***
	<i>B. pendula</i>	162,779 ±1,023	***	***	/	162,694 ±2,278	***	***	/	127,027 ±12,796	***	***	/	160,153 ±4,500	***	***	/

ANOVA, n=5, *p<0,05, **p<0,01, ***p<0,001, ns-nema značajnih razlika

Sadržaj As, Cd, Cr, Li, Ni, Pb, Se u kori ispitivanih biljaka

Kadmijum je u kori mleča bilo moguće izmeriti u drugom delu sezone kada je njegov sadržaj varirao od 0,68 mg/kg u Beogradu do 0,97 mg/kg u Obrenovcu. U kori javora i breze Cd je izmeren samo u oktobru, i kod javora se kretao od 0,70 mg/kg u Pančevu do 1,08 mg/kg u Beogradu, a kod breze od 0,62 mg/kg u Pančevu i Obrenovcu do 0,72 mg/kg u Smederevu i kontroli.

Prisustvo Cr u kori mleča je izmereno tokom cele sezone izuzev u uzorcima sa kontrole u avgustu, i kretao se od 0,57 mg/kg na kontroli do 5,71 mg/kg u Pančevu. U kori javora sadržaj Cr je bilo moguće izmeriti tek u drugom delu sezone, osim u Pančevu, Smederevu i Beogradu u avgustu, i kretao se od 2,67 mg/kg u Pančevu do 11,73 mg/kg u Beogradu. U kori breze Cr je takođe izmeren u drugom delu sezone izuzev u uzorcima sa kontrole u avgustu, i kretao se od 1,00 mg/kg u Pančevu do 3,31 mg/kg u Smederevu.

Kod svih ispitivanih vrsta koncentraciju Ni je bilo moguće izmeriti samo u junu. Kod mleča sadržaj Ni se kretao od 2,54 mg/kg u Pančevu do 4,46 mg/kg u Obrenovcu, kod javora od 2,46 mg/kg u Pančevu do 6,41 mg/kg u Beogradu i kod breze od 1,80 mg/kg u Pančevu do 4,22 u Beogradu.

Za Pb važi sličan trend kao za Ni. U kori mleča sadržaj Pb je izmeren tokom cele sezone izuzev u Smederevu i kontroli u junu i kontroli u avgustu, i kretao se kretao od 2,24 mg/kg u Smederevu u junu do 23,81 mg/kg u Obrenovcu, u oktobru. U kori javora sadržaj Pb je takođe bilo moguće kvantifikovati tokom cele sezone izuzev u uzorcima iz Pančeva i Smedereva u avgustu i oktobru i Obrenovca u oktobru, i kretao se od 4,14 mg/kg u Obrenovcu do 85,76 mg/kg u Beogradu. Koru breze karakteriše drugačiji trend po pitanju Pb u odnosu na druge dve vrste, naime sadržaj Pb je izmeren na svim lokalitetima samo tokom juna izuzev u uzorcima iz Beograda u avgustu i Obrenovca u oktobru, i kretao se od 2,07 mg/kg u Pančevu do 18,23 mg/kg u avgustu u Beogradu.

Tabela 46. Sadržaj Cd, Cr, Ni i Pb u kori ispitivanih biljaka u Pančevu, Smederevu, Obrenovcu, Beogradu i na kontrolnom lokalitetu u junu, avgustu i oktobru (srednja vrednost $\pm$ st dev, n=5)

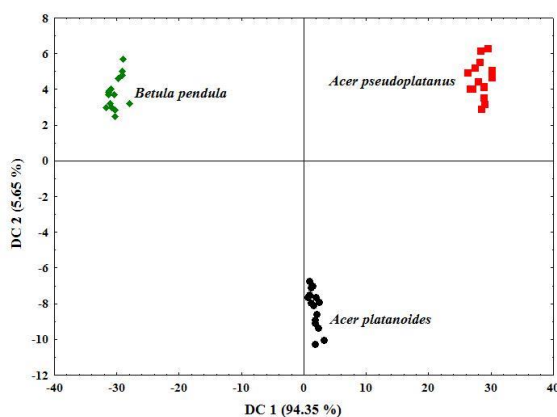
<i>Acer platanoides</i>												
Lokalitet	JUN				AVGUST				OKTOBAR			
	Cd	Cr	Ni	Pb	Cd	Cr	Ni	Pb	Cd	Cr	Ni	Pb
Pančevo	/	1,33 $\pm$ 0,09	2,54 $\pm$ 0,09	7,04 $\pm$ 0,77	0,86 $\pm$ 0,01	5,71 $\pm$ 0,49	/	18,15 $\pm$ 3,19	0,93 $\pm$ 0,02	3,31 $\pm$ 0,53	/	20,83 $\pm$ 1,59
Smederevo	/	1,56 $\pm$ 0,14	3,21 $\pm$ 0,05	2,24 $\pm$ 0,20	0,70 $\pm$ 0,02	4,35 $\pm$ 0,71	/	/	0,76 $\pm$ 0,06	1,40 $\pm$ 0,42	/	1,05 $\pm$ 0,16
Obrenovac	/	2,43 $\pm$ 0,65	4,46 $\pm$ 0,55	6,46 $\pm$ 0,59	0,86 $\pm$ 0,02	3,94 $\pm$ 0,22	/	13,04 $\pm$ 0,55	0,97 $\pm$ 0,02	5,11 $\pm$ 0,30	/	23,81 $\pm$ 1,00
Beograd	/	1,70 $\pm$ 0,39	4,36 $\pm$ 0,32	9,75 $\pm$ 0,47	0,68 $\pm$ 0,02	1,44 $\pm$ 0,09	/	11,84 $\pm$ 0,90	0,82 $\pm$ 0,08	2,67 $\pm$ 0,35	/	22,25 $\pm$ 1,47
Kontrola	/	0,71 $\pm$ 0,09	3,13 $\pm$ 0,19	2,54 $\pm$ 0,20	0,80 $\pm$ 0,01	/	/	/	0,78 $\pm$ 0,01	0,57 $\pm$ 0,30	/	/
<i>Acer pseudoplatanus</i>												
Lokalitet	JUN				AVGUST				OKTOBAR			
	Cd	Cr	Ni	Pb	Cd	Cr	Ni	Pb	Cd	Cr	Ni	Pb
Pančevo	/	/	2,46 $\pm$ 0,04	3,76 $\pm$ 0,19	/	/	/	/	0,70 $\pm$ 0,02	2,67 $\pm$ 0,36	/	/
Smederevo	/	/	3,30 $\pm$ 0,22	4,25 $\pm$ 0,54	/	/	/	/	0,73 $\pm$ 0,02	4,04 $\pm$ 0,32	/	/
Obrenovac	/	/	3,48 $\pm$ 0,37	4,14 $\pm$ 0,25	/	3,94 $\pm$ 0,22	/	13,04 $\pm$ 0,55	0,71 $\pm$ 0,01	3,27 $\pm$ 0,15	/	/
Beograd	/	/	6,41 $\pm$ 0,44	25,70 $\pm$ 3,69	/	/	/	36,46 $\pm$ 1,19	1,08 $\pm$ 0,03	11,73 $\pm$ 0,26	/	85,76 $\pm$ 1,76
Kontrola	/	/	3,40 $\pm$ 0,23	5,05 $\pm$ 1,10	/	6,73 $\pm$ 1,79	/	5,29 $\pm$ 0,45	0,74 $\pm$ 0,02	4,77 $\pm$ 0,48	/	5,22 $\pm$ 0,40
<i>Betula pendula</i>												
Lokalitet	JUN				AVGUST				OKTOBAR			
	Cd	Cr	Ni	Pb	Cd	Cr	Ni	Pb	Cd	Cr	Ni	Pb
Pančevo	/	/	1,80 $\pm$ 0,08	2,07 $\pm$ 0,52	/	1,00 $\pm$ 0,12	/	/	0,62 $\pm$ 0,01	1,47 $\pm$ 0,18	/	/
Smederevo	/	/	2,30 $\pm$ 0,07	5,08 $\pm$ 0,44	/	2,00 $\pm$ 0,24	/	/	0,72 $\pm$ 0,01	3,31 $\pm$ 0,27	/	/
Obrenovac	/	/	1,88 $\pm$ 0,04	2,42 $\pm$ 0,36	/	1,70 $\pm$ 0,32	/	/	0,62 $\pm$ 0,01	1,07 $\pm$ 0,15	/	10,32 $\pm$ 0,78
Beograd	/	/	4,22 $\pm$ 0,17	9,09 $\pm$ 0,68	/	1,97 $\pm$ 0,27	/	18,23 $\pm$ 4,23	0,65 $\pm$ 0,01	1,47 $\pm$ 0,77	/	/
Kontrola	/	/	2,13 $\pm$ 0,13	2,92 $\pm$ 0,22	/	/	/	/	0,72 $\pm$ 0,04	1,20 $\pm$ 0,34	/	/

ANOVA, n=5, *p<0,05, **p<0,01, ***p<0,001, ns-nema značajnih razlika

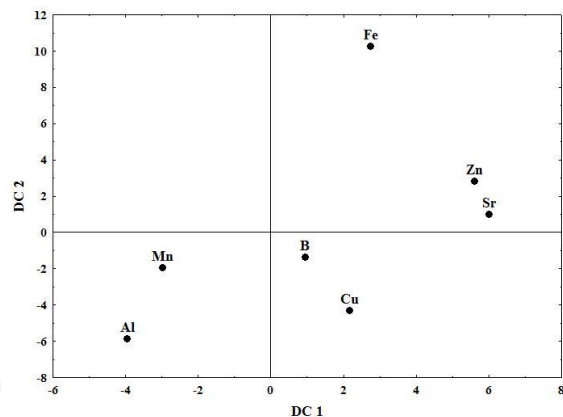
5.2.2.1. Razlike između vrsta utvrđene na osnovu sadržaja potencijalno toksičnih elemenata u kori ispitivanih biljaka

Diskriminantna analiza (DA) je primenjena u cilju utvrđivanja razlika između ispitivanih vrsta na osnovu sadržaja potencijalno toksičnih elemenata (varijable: Al, B, Cu, Fe, Mn, Sr, Zn) u kori i rezultati su prikazani na Slici 12. Na svim lokalitetima je uočeno jasno razdvajanje između vrsta, izuzev u Obrenovcu gde se mlec i javor delimično preklapaju. U Pančevu na razdvajanje vrsta na osnovu prve diskriminantne funkcije (DC1) koja objašnjava 94,35 % razlika najviše utiču Sr i Zn, a u Smederevu Sr i Fe prema DC1 (98,9 %). U Obrenovcu razlikovanju vrsta doprinose B i Al (DC1, 99,2 %), a u Beogradu Cu i Al (DC1, 94,41 %). Nasuprot, na kontrolnom lokalitetu na razdvajanje vrsta najveći uticaj imaju Mn i Sr (DC1, 89,64 %) i (DC2, 10,36 %).

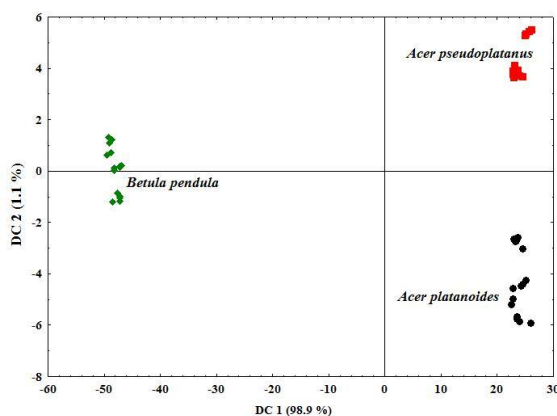
1a



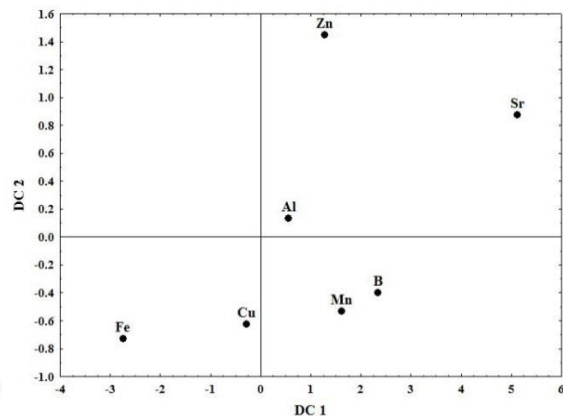
1b



2a

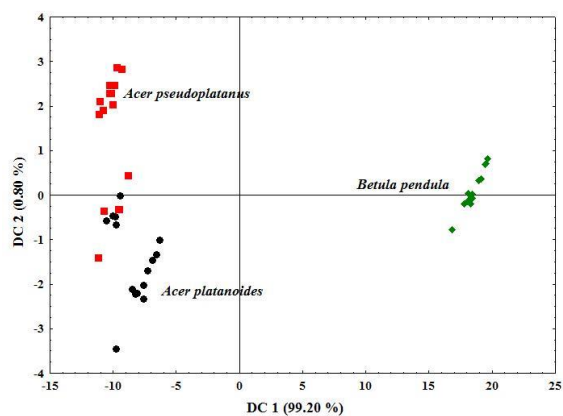


2b

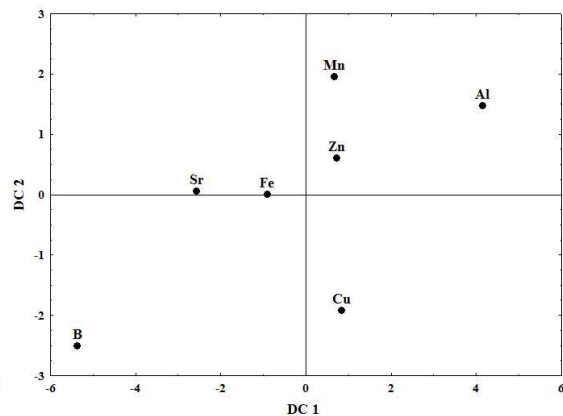


nastavak slike 12.

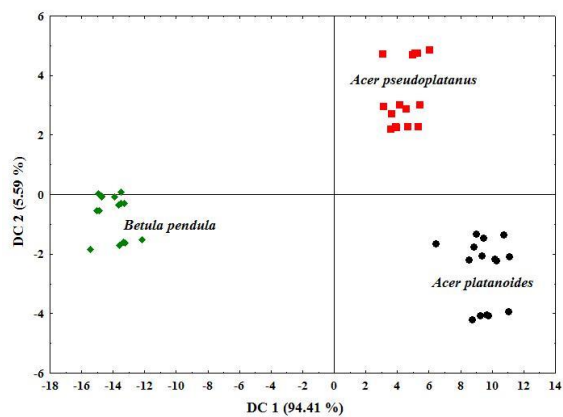
3a



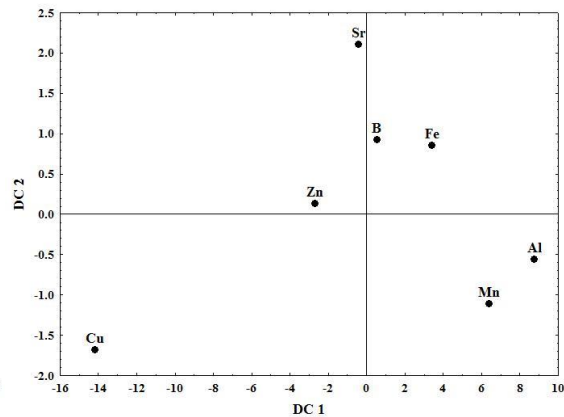
3b



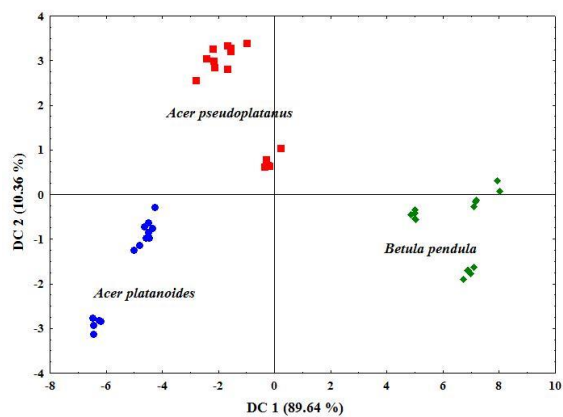
4a



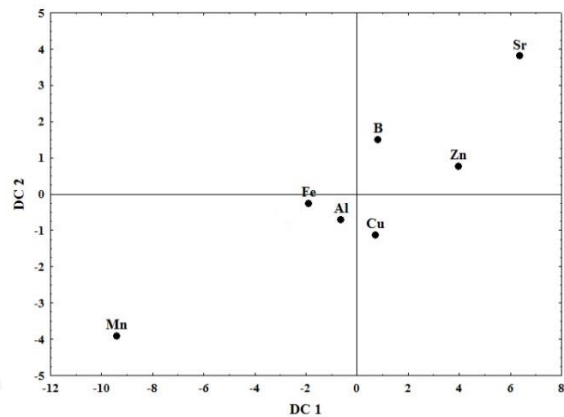
4b



5a



5b

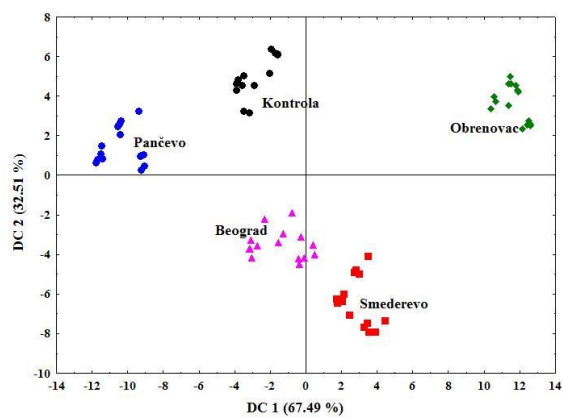


Slika 12. Razlike između vrsta u Pančevu (1a, 1b); Smederevu (2a, 2b), Obrenovcu (3a, 3b), Beogradu (1a, 2b) i kontrolnom lokalitetu (1a, 1b) na osnovu sadržaja potencijalno toksičnih elemenata u kori ispitivanih biljaka; DC - diskriminantna funkcija.

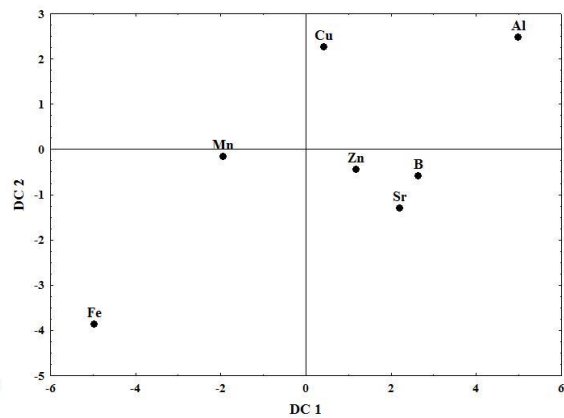
5.2.2.2. Razlike između lokaliteta utvrđene na osnovu sadržaja potencijalno toksičnih elemenata u kori ispitivanih biljaka

DA je takođe primenjena u cilju utvrđivanja razlika između lokaliteta na osnovu sadržaja hemijskih elemenata (varijable: Al, B, Cu, Fe, Mn, Sr, Zn) u kori ispitivanih biljaka, a rezultati su prikazani na Slici 13. Svi lokaliteti na kojima raste mlač su jasno razdvojeni na osnovu prve diskriminantne funkcije (DC1) koja objašnjava 67,49 % razlika i druge diskriminantne funkcije (DC2) koja objašnjava 32,51 % razlika, zahvaljujući akumulaciji Fe i Al. Razlike između lokaliteta na kojima raste javor su manje izražene u poređenju sa istim na kojima raste mlač. Naime, Pančevo se jasno izdvaja u odnosu na ostale lokalitete, dok je delimično preklapanje uočeno između Obrenovca i kontrolnog lokaliteta i Obrenovca i Beograda. Na razdvajanje prema DC1 koja objašnjava 71,4 % razlika, najviše utiču Mn i Zn, a prema DC2 koja objašnjava 28,6 % razlika na razdvajanje najviše utiču Cu, Sr i Zn. Najmanja razlika postoji između lokaliteta na kojima raste breza. Jasno se razdvajaju Pančevo i Beograd, kako međusobno tako i u odnosu na ostala tri lokaliteta dok je uočeno delimično preklapanje kontrolnog lokaliteta, Smedereva i Obrenovca. Ovakvom odnosu lokaliteta prema DC1 koja objašnjava 74,8 % razlika i DC2 koja objašnjava 25,2 % razlika najviše doprinose Zn i Sr.

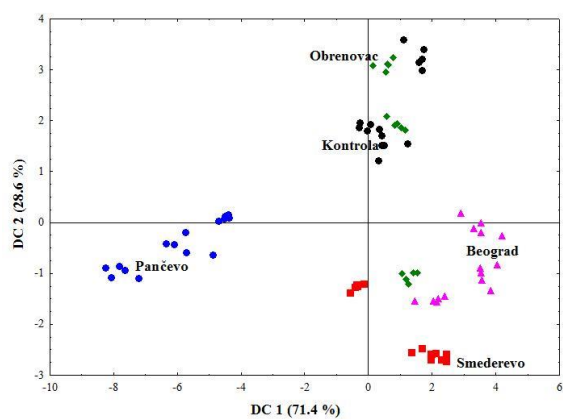
1a



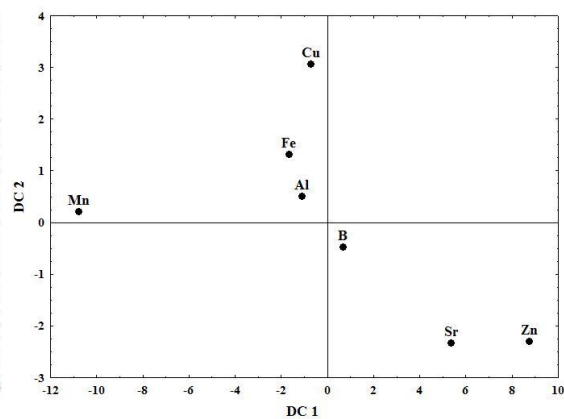
1b



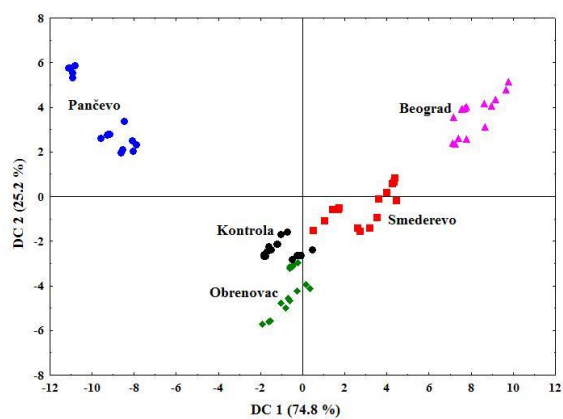
2a



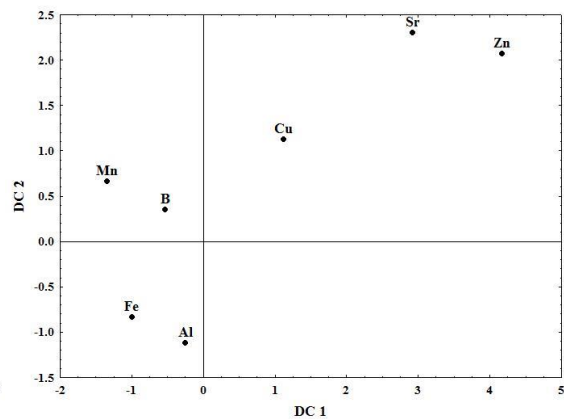
2b



3a



3b



Slika 13. Razlike između ispitivanih lokaliteta na osnovu sadržaja potencijalno toksičnih elemenata u kori mleča (1a, 1b); javora (2a, 2b) i breze (3a, 3b); DC - diskriminantna funkcija.

5.2.3. Biokoncentracioni faktor (BCF) kod ispitivanih biljaka

Nakon odeđivanja sadržaja hemijskih elemenata (Al, B, Cu, Fe, Mn, Sr i Zn) u zemljištu, kori i listovima, izračunat je BCF u cilju utvrđivanja potencijala ispitivanih vrsta za akumulaciju, indicaciju ili isključivanje ovih elemenata. Vrednosti BCF veće od jedan ($BCF > 1$) ukazuju da je biljka potencijalni akumulator, BCF jednak jedinici ($BCF = 1$) biljka je potencijalni indikator i BCF manji od jedan ($BCF < 1$) biljka bi mogla biti potencijalni ekskluder određenog hemijskog elementa (Mingorance et al. 2007; Šerbula et al. 2012). Vrednosti BCF za koru i list date su u Tabeli 47.

Rezultati su pokazali da je kod svih ispitivanih vrsta i na svim ispitivanim lokalitetima, BCF u kori i listu za Al, B, Cu, Fe i Mn bio manji od jedan ($BCF < 1$), izuzev kod breze za B iz Smedereva (1,044) i Beograda (1,567) i kori javora za Cu sa kontrolnog lokaliteta (1,040). BCF za Sr u listovima ispitivanih vrsta je uglavnom veći od jedan ($BCF > 1$), sa izuzetkom mleča iz Pančeva i Smedereva, javora iz Beograda i breze iz Smedereva, Obrenovca i Beograda. Kod mleča i javora, BCF u kori za Sr, je veći od jedan ($BCF > 1$) na svim lokalitetima, dok je u kori breze bio značajno manji od jedan ($BCF < 1$). Takođe se može primetiti da list i kora ispitivanih vrsta imaju BCF za Zn manji od jedan ($BCF < 1$) na gotovo svim lokalitetima, sa izuzetkom lista breze iz Beograda (2,172), kore breze iz Pančeva, Smedereva, Obrenovca i kontrolnog lokaliteta i kore javora sa kontrolnog lokaliteta. Imajući u vidu sve navedeno, jasno je da se ispitivane vrste biljaka ne mogu smatrati akumulatorima ili indikatorima određenog hemijskog elementa, izuzev u slučaju Sr gde bi eventualno mogle da se primene kao indikatori.

Tabela 47. Biokoncentracioni faktor za Al, B, Cu, Fe, Mn, Sr i Zn u listovima i kori ispitivanih vrsta biljaka

		LIST							KORA						
	BCF	Al	B	Cu	Fe	Mn	Sr	Zn	Al	B	Cu	Fe	Mn	Sr	Zn
<i>A. platanooides</i>	Pančevo	0,004 (0,0003)	0,253 (0,006)	0,303 (0,002)	0,007 (0,0004)	0,122 (0,0003)	0,695 (0,040)	0,325 (0,004)	0,006 (0,0002)	0,066 (0,003)	0,502 (0,041)	0,009 (0,0004)	0,138 (0,0002)	1,271 (0,223)	0,696 (0,011)
	Smederevo	0,009 (0,0008)	0,828 (0,017)	0,240 (0,001)	0,012 (0,0005)	0,060 (0,0001)	0,874 (0,016)	0,078 (0,001)	0,038 (0,0004)	0,217 (0,004)	0,297 (0,002)	0,026 (0,0001)	0,228 (0,0011)	1,991 (0,037)	0,205 (0,001)
	Obrenovac	0,003 (0,0001)	0,412 (0,001)	0,256 (0,006)	0,005 (0,0002)	0,038 (0,0005)	1,212 (0,015)	0,236 (0,006)	0,017 (0,0001)	0,115 (0,001)	0,547 (0,013)	0,018 (0,0005)	0,097 (0,0012)	2,263 (0,029)	0,484 (0,012)
	Beograd	0,005 (0,0002)	0,884 (0,030)	0,422 (0,005)	0,007 (0,0002)	0,674 (0,0061)	1,217 (0,011)	0,276 (0,008)	0,010 (0,0001)	0,227 (0,004)	0,894 (0,010)	0,017 (0,0001)	0,428 (0,0041)	1,190 (0,011)	0,238 (0,007)
	Kontrola	0,003 (0,0002)	0,346 (0,004)	0,462 (0,007)	0,006 (0,0001)	0,104 (0,0007)	1,808 (0,060)	0,589 (0,002)	0,003 (0,0001)	0,080 (0,001)	0,870 (0,014)	0,004 (0,0001)	0,126 (0,0013)	2,334 (0,077)	0,734 (0,003)
<i>A. pseudoplatanus</i>	Pančevo	0,004 (0,0003)	0,535 (0,013)	0,342 (0,003)	0,006 (0,0001)	0,176 (0,0011)	1,566 (0,113)	0,532 (0,019)	0,011 (0,0001)	0,104 (0,001)	0,266 (0,003)	0,011 (0,0002)	0,170 (0,0011)	1,655 (0,048)	0,222 (0,004)
	Smederevo	0,005 (0,0003)	0,933 (0,013)	0,154 (0,002)	0,008 (0,0001)	0,176 (0,0005)	1,354 (0,039)	0,133 (0,002)	0,012 (0,0001)	0,109 (0,001)	0,176 (0,002)	0,016 (0,0002)	0,136 (0,0014)	2,025 (0,058)	0,222 (0,004)
	Obrenovac	0,004 (0,0006)	0,466 (0,004)	0,537 (0,010)	0,004 (0,0003)	0,025 (0,0001)	1,424 (0,045)	0,458 (0,009)	0,011 (0,0052)	0,182 (0,008)	0,454 (0,048)	0,013 (0,0006)	0,058 (0,0212)	2,754 (0,089)	0,574 (0,073)
	Beograd	0,016 (0,0003)	0,578 (0,022)	0,587 (0,014)	0,023 (0,0003)	0,145 (0,0004)	0,653 (0,005)	0,173 (0,001)	0,046 (0,0013)	0,155 (0,006)	0,571 (0,013)	0,050 (0,0001)	0,269 (0,0021)	2,015 (0,017)	0,354 (0,003)
	Kontrola	0,005 (0,0006)	0,546 (0,006)	0,522 (0,024)	0,008 (0,0002)	0,117 (0,0023)	1,321 (0,016)	0,467 (0,024)	0,024 (0,0003)	0,119 (0,001)	1,040 (0,047)	0,036 (0,0001)	0,175 (0,0031)	3,274 (0,039)	1,177 (0,059)
<i>B. pendula</i>	Pančevo	0,007 (0,0001)	0,365 (0,013)	0,354 (0,012)	0,006 (0,0001)	0,163 (0,0011)	1,680 (0,041)	0,513 (0,032)	0,007 (0,0001)	0,061 (0,031)	0,453 (0,011)	0,006 (0,0001)	0,259 (0,0012)	0,34 (0,011)	1,99 (0,110)
	Smederevo	0,006 (0,0002)	1,044 (0,019)	0,133 (0,014)	0,011 (0,0002)	0,061 (0,0042)	0,814 (0,023)	0,385 (0,011)	0,011 (0,0002)	0,714 (0,012)	0,180 (0,012)	0,025 (0,0003)	0,040 (0,0001)	0,21 (0,014)	1,02 (0,011)
	Obrenovac	0,008 (0,0001)	0,419 (0,009)	0,301 (0,011)	0,007 (0,0002)	0,036 (0,0001)	0,418 (0,022)	0,807 (0,074)	0,009 (0,0001)	0,403 (0,014)	0,276 (0,011)	0,007 (0,0002)	0,017 (0,0001)	0,11 (0,013)	1,96 (0,120)
	Beograd	0,006 (0,0001)	1,567 (0,021)	0,206 (0,012)	0,007 (0,0001)	0,052 (0,0013)	0,972 (0,021)	2,172 (0,012)	0,010 (0,0001)	0,077 (0,011)	0,375 (0,013)	0,031 (0,0004)	0,027 (0,0004)	0,33 (0,011)	0,84 (0,011)
	Kontrola	0,002 (0,0002)	0,445 (0,014)	0,379 (0,012)	0,006 (0,003)	0,052 (0,0012)	1,041 (0,051)	0,642 (0,012)	0,002 (0,0001)	0,027 (0,012)	0,452 (0,011)	0,010 (0,0001)	0,036 (0,0002)	0,28 (0,021)	1,72 (0,011)

5.3 Efekat zagađivanja potencijalno toksičnim elementima na morfo – fiziološke karakteristike ispitivanih biljaka

5.3.1. Kinetika florescencije hlorofila, količina hlorofila i karotenoida u listovima ispitivanih biljaka

Kinetika florescencije hlorofila

Fotosintetički odgovor izabranih drvenastih vrsta na efekte stresa zagađivanja u urbanim parkovima analiziran je merenjem parametra efikasnosti fotosinteze PSII metodom indukovane fluorescencije hlorofila. Razlike u fotosintetičkoj efikasnosti (Fv/Fm) između ispitivanih vrsta analizirane su na osnovu prostorne i vremenske dinamike (Tabela 49), a razlike između ispitivanih vrsta biljaka, prikazane su u Tabeli 50. Na osnovu trofaktorske analize varijanse (factorial ANOVA) uočeno je da na utvrđene razlike značajno utiču sva tri faktora varijabilnosti (lokalitet, vrsta, sezona; $p < 0.001$), ali da vrsta ima dominantan uticaj (Tabela 48).

Tabela 48. Uticaj faktora varijabilnosti na razlike u efikasnosti fotosinteze (Fv/Fb) ispitivanih biljaka

Fv/Fm	Lokalitet	Vrsta	Sezona	Lokalitet* Vrsta	Lokalitet* Sezona	Vrsta* Sezona	Lokalitet* Vrsta* Sezona
F	343,0	1107,0	76,0	68,0	62,0	136,0	35,0
p	***	***	***	***	***	***	***

ANOVA, *** $p < 0,001$

Opseg izmerenih vrednosti parametra Fv/Fm kod mleča tokom vegetacijske sezone se kretao od 0,721 u Smederevu do 0,823 na kontroli. Analiza parametra Fv/Fm kod mleča je pokazala pravilnost u sezonskoj dinamici sa maksimalnim vrednostima dostignutim u oktobru i minimalnim u avgustu, osim u Beogradu gde su maksimalne vrednosti izmerene u junu. Utvrđene su razlike u efikasnosti fotosinteze između ispitivanih lokaliteta ($p < 0,001$; $p < 0,01$), osim u Beogradu gde nema značajnih razlika u odnosu na kontrolni lokalitet, u avgustu (ns).

Kod javora, tokom sezone, vrednost parametra Fv/Fm se kretala u intervalu od 0,658 do 0,815 i nije uočena pravilnost u sezonskoj dinamici. Utvrđene su značajne razlike u efikasnosti fotosinteze na lokalitetima u odnosu na kontrolni ($p < 0,001$), gde su

ujedno izmerene i najviše vrednosti parametra F_v/F_m , izuzev kod individua iz parkova u Obrenovcu i Beogradu, u oktobru (ns).

Kod breze, tokom cele sezone vrednosti parametra F_v/F_m su bile u intervalu od 0,731 do 0,842, Breza se tokom sezone ponašala slično kao javor, nije bilo pravilnosti u sezonskoj dinamici. Utvrđene su razlike ($p < 0,001$) u fotosintetičkoj efikasnosti u odnosu na kontrolni lokalitet, gde su izmerene najviše vrednosti. Izuzetak su individue iz parkova u Pančevu i Smederevu i Obrenovcu (ns).

Poređenje sezonske dinamike fotosintetičke aktivnosti ispitivanih vrsta je pokazalo da breza ima najveći fotosintetički kapacitet, osim u junu u Obrenovcu, Beogradu i na kontrolnom lokalitetu gde je kod mleča izmerena najviša efikasnost fotosinteze. Najniže vrednosti F_v/F_m tokom cele sezone su izmerene kod javora, zatim kod breze u Beogradu u junu, javora u avgustu i mleča na kontrolnom staništu.

Kada su u pitanju lokaliteti, na kontrolnom lokalitetu su sve tri vrste pokazale najveću efikasnost fotosinteze, dok je najmanja vrednost parametra F_v/F_m najčešće izmerena u Smederevu i Beogradu.

Tabela 49. Prostorna i vremenska dinamika fotosintetičke efikasnosti (Fv/Fm) ispitivanih biljaka u Pančevu, Smederevu, Obrenovcu, Beogradu i na kontrolnom lokalitetu

<i>Acer platanoides</i>																		
Fv/Fm	JUN						AVGUST						OKTOBAR					
	M±SD	P	S	O	B	K	M±SD	P	S	O	B	K	M±SD	P	S	O	B	K
Pančevo	0,766 ±0,022	/	ns	ns	ns	***	0,751 ±0,025	/	***	ns	ns	***	0,786 ±0,026	/	ns	ns	ns	***
Smederevo	0,770 ±0,024	ns	/	ns	ns	***	0,721 ±0,035	***	/	***	***	***	0,784 ±0,023	ns	/	ns	ns	***
Obrenovac	0,781 ±0,022	ns	ns	/	ns	**	0,754 ±0,032	ns	***	/	ns	***	0,798 ±0,018	ns	ns	/	***	***
Beograd	0,778 ±0,025	ns	ns	ns	/	***	0,762 ±0,023	ns	***	ns	/	ns	0,768 ±0,025	ns	ns	***	/	***
Kontrola	0,804 ±0,022	***	***	**	***	/	0,779 ±0,027	***	***	***	ns	/	0,823 ±0,022	***	***	***	***	/
<i>Acer pseudoplatanus</i>																		
Fv/Fm	JUN						AVGUST						OKTOBAR					
	M±SD	P	S	O	B	K	M±SD	P	S	O	B	K	M±SD	P	S	O	B	K
Pančevo	0,754 ±0,028	/	***	***	ns	***	0,658 ±0,036	/	***	***	***	***	0,721 ±0,020	/	***	ns	ns	***
Smederevo	0,702 ±0,031	***	/	ns	***	***	0,712 ±0,039	***	/	ns	***	***	0,666 ±0,029	***	/	***	***	***
Obrenovac	0,702 ±0,029	***	ns	/	***	***	0,717 ±0,025	***	ns	/	***	***	0,734 ±0,024	ns	***	/	ns	ns
Beograd	0,739 ±0,015	ns	***	***	/	***	0,762 ±0,028	***	***	***	/	***	0,741 ±0,026	ns	***	ns	/	ns
Kontrola	0,778 ±0,032	***	***	***	***	/	0,815 ±0,021	***	***	***	***	/	0,750 ±0,023	***	***	ns	ns	/
<i>Betula pendula</i>																		
Fv/Fm	JUN						AVGUST						OKTOBAR					
	M±SD	P	S	O	B	K	M±SD	P	S	O	B	K	M±SD	P	S	O	B	K
Pančevo	0,780 ±0,026	/	ns	***	***	ns	0,780 ±0,019	/	ns	***	ns	***	0,803 ±0,017	/	ns	*	*	***
Smederevo	0,773 ±0,028	ns	/	**	***	ns	0,799 ±0,022	ns	/	***	***	***	0,784 ±0,021	ns	/	***	ns	***
Obrenovac	0,751 ±0,026	***	**	/	*	***	0,754 ±0,026	***	***	/	ns	***	0,826 ±0,018	*	***	/	***	ns
Beograd	0,731 ±0,026	***	***	*	/	***	0,772 ±0,026	ns	***	ns	/	***	0,781 ±0,027	*	ns	***	/	***
Kontrola	0,787 ±0,024	ns	ns	***	***	/	0,842 ±0,013	***	***	***	***	/	0,831 ±0,024	***	***	ns	***	/

ANOVA, n=50, *p<0,05, **p<0,01, ***p<0,001, ns – nema značajnih razlika

Tabela 50. Razlike u intenzitetu fotosintetičke efikasnosti (Fv/Fm) ispitivanih biljaka u Pančevu, Smederevu, Obrenovcu, Beogradu i na kontrolnom lokalitetu u junu, avgustu i oktobru

Fv/Fm		Pančevo			Smederevo				Obrenovac				Beograd				Kontrola				
Vrsta	M±SD	Pl	Ps	B	M±SD	Pl	Ps	B	M±SD	Pl	Ps	B	M±SD	Pl	Ps	B	M±SD	PL	PS	B	
JUN	<i>A. platanoides</i>	0,766 ±0,022	/	ns	ns	0,770 ±0,024	/	***	ns	0,781 ±0,022	/	***	***	0,778 ±0,025	/	***	***	0,804 ±0,022	/	***	ns
	<i>A. pseudoplatanus</i>	0,754 ±0,028	ns	/	***	0,702 ±0,031	***	/	***	0,702 ±0,029	***	/	***	0,739 ±0,015	***	/	ns	0,778 ±0,032	***	/	ns
	<i>B. pendula</i>	0,780 ±0,026	ns	***	/	0,773 ±0,028	ns	***	/	0,751 ±0,026	***	***	/	0,731 ±0,026	***	ns	/	0,787 ±0,024	ns	ns	/
Fv/Fm		Pančevo			Smederevo				Obrenovac				Beograd				Kontrola				
Vrsta	M±SD	Pl	Ps	B	M±SD	Pl	Ps	B	M±SD	Pl	Ps	B	M±SD	Pl	Ps	B	M±SD	PL	PS	B	
AVGUST	<i>A. platanoides</i>	0,751 ±0,025	/	***	***	0,722 ±0,035	/	ns	***	0,754 ±0,026	/	***	ns	0,762 ±0,023	/	ns	ns	0,779 ±0,027	/	***	***
	<i>A. pseudoplatanus</i>	0,658 ±0,036	***	/	***	0,712 ±0,038	ns	/	***	0,717 ±0,025	***	/	***	0,762 ±0,028	ns	/	ns	0,815 ±0,021	***	/	***
	<i>B. pendula</i>	0,780 ±0,018	***	***	/	0,799 ±0,022	***	***	/	0,754 ±0,026	ns	***	/	0,772 ±0,026	ns	ns	/	0,842 ±0,013	***	***	/
Fv/Fm		Pančevo			Smederevo				Obrenovac				Beograd				Kontrola				
Vrsta	M±SD	Pl	Ps	B	M±SD	Pl	Ps	B	M±SD	Pl	Ps	B	M±SD	Pl	Ps	B	M±SD	PL	PS	B	
OKTOBAR	<i>A. platanoides</i>	0,786 ±0,026	/	***	ns	0,784 ±0,023	/	***	ns	0,798 ±0,018	/	***	***	0,768 ±0,025	/	***	ns	0,823 ±0,022	/	***	ns
	<i>A. pseudoplatanus</i>	0,721 ±0,020	***	/	***	0,666 ±0,029	***	/	***	0,734 ±0,024	***	/	***	0,741 ±0,026	***	/	***	0,750 ±0,023	***	/	***
	<i>B. pendula</i>	0,803 ±0,017	ns	***	/	0,784 ±0,022	ns	***	/	0,826 ±0,018	***	***	/	0,781 ±0,027	ns	***	/	0,831 ±0,024	ns	***	/

ANOVA, n=50, *p<0,05, **p<0,01, ***p<0,001, ns – nema značajnih razlika

Sadržaj fotosintetičkih pigmenata u listovima ispitivanih biljaka

Razlike u sadržaju hlorofila (Chl a, Chl b, Chl a+b i Chl a/b) i ukupnih karotenoida (Tot Carot) u listovima ispitivanih vrsta analizirane su na osnovu njihove prostorne i vremenske dinamike (Tabele: 52, 54, 56, 58 i 60) u Pančevu, Smederevu, Obrenovcu, Beogradu i kontrolnom lokalitetu. Razlike između vrsta na svakom lokalitetu, prikazane su u Tabelama 53, 55, 57, 59 i 61. Na osnovu trofaktorske analize varijanse (factorial ANOVA) uočeno je da na razlike značajno utiču sva tri faktora varijabilnosti (lokalitet, vrsta, sezona; $p < 0,001$). Vrsta ima najizraženiji uticaj na sadržaj Chl a, Chl b, Chl a/b i Tot Carot, dok na sadržaj Chl a+b dominantan uticaj ima lokalitet (Tabela 51).

Tabela 51. Uticaj faktora varijabilnosti (lokalitet, sezona i vrsta) na razlike u sadržaju fotosintetičkih pigmenata u listovima ispitivanih biljaka

Fotosintetički i pigmenati		Lokalitet	Sezona	Vrsta	Lokalitet * Sezona	Lokalitet * Vrsta	Sezona * Vrsta	Lokalitet * Sezona * Vrsta
Chl a	F p	649,52 ***	507,93 ***	2145,65 ***	358,33 ***	34,50 ***	160,69 ***	86,73 ***
Chl b	F p	412,00 ***	160,99 ***	475,79 ***	97,16 ***	44,47 ***	22,71 ***	20,99 ***
Chl a+b	F p	795,16 ***	480,03 ***	302,37 ***	311,17 ***	33,98 ***	92,69 ***	50,04 ***
Chl a/b	F p	63,51 ***	6,57 ***	942,77 ***	13,47 ***	5,71 ***	17,39 ***	9,59 ***
Tot Carot	F p	110,25 ***	36,33 ***	227,81 ***	30,81 ***	14,76 ***	15,04 ***	11,87 ***

ANOVA, *** $p < 0,001$

Sadržaj Chl a u listovima mleča se tokom sezone kretao u intervalu od 2,30 mg/g u Beogradu do 10,22 mg/g u Obrenovcu. Minimalan sadržaj Chl a u listovima mleča izmeren je tokom juna na svim lokalitetima, osim u Smederevu. Mleč je dostigao maksimalne koncentracije Chl a u drugom delu sezone odnosno tokom avgusta u Pančevu, Obrenovcu i kontroli i tokom oktobra u Beogradu i Smederevu. U listovima mleča tokom cele sezone utvrđene su značajne razlike u sadržaju Chl a između ispitivanih lokaliteta i kontrole ($p < 0,001$), sa izuzetkom u Beogradu tokom juna i oktobra gde nije bilo značajnih razlika u odnosu na kontrolni lokalitet (ns).

Sadržaj Chl a u listovima javora tokom sezone se kretao u opsegu od 2,13 mg/g na kontrolnom lokalitetu do 8,31 mg/g u Beogradu. Slično kao i kod mleča, minimalan

sadržaj je izmeren tokom juna na svim lokalitetima, dok su maksimalne vrednosti izmerene u avgustu, osim u Beogradu gde je sadržaj Chl a dostigao maksimum u oktobru. Utvrđene su značajne razlike u sadržaju Chl a između ispitivanih lokaliteta i kontrole ($p<0,001$; $p<0,01$), izuzev u Obrenovcu tokom oktobra (ns).

Sadržaj Chl a u listovima breze tokom sezone se kretao u opsegu od 2,26 mg/g u Smederevu do 6,82 mg/g u Obrenovcu. Kao i kod druge dve vrste, minimalan sadržaj Chl a u listovima breze je izmeren u junu na svim lokalitetima a maksimalan u drugom delu sezone, odnosno u avgustu u Beogradu i na kontrolnom lokalitetu i u oktobru u Pančevu, Smederevu i Obrenovcu. U junu nije bilo značajnih razlika u sadržaju Chl a između ispitivanih lokaliteta i kontrole (ns), osim u odnosu na Pančevo ($p<0,001$). U drugom delu sezone utvrđene su razlike između ispitivanih lokaliteta i kontrole ($p<0,001$), osim u avgustu u Obrenovcu i u oktobru u Smederevu (ns).

Upoređujući sadržaj Chl a između vrsta uočeno je da je breza iz parkova u Pančevu, Smederevu i Obrenovcu u junu imala niži sadržaj Chl a u odnosu na druge dve vrste, dok je u Beogradu i na kontrolnom lokalitetu sadržaj Chl a bio sličan kod mleča i breze (ns) i niži odnosno sličan u odnosu na javor ($p<0,001$; ns). Slično, u avgustu, u Pančevu, Smederevu i Obrenovcu breza je imala niži sadržaj Chl a u odnosu na druge dve vrste, dok je u Beogradu i na kontrolnom lokalitetu to bio mleč. U oktobru u Pančevu, Smederevu i Beogradu, breza je imala niži sadržaj Chl a u odnosu na druge dve vrste, dok je u Obrenovcu najniži sadržaj izmeren u listovima javora ($p<0,001$), odnosno u listovima mleča na kontrolnom lokalitetu.

Sadržaj Chl b u listovima mleča je tokom sezone varirao od 0,98 mg/g u Beogradu do 4,39 mg/g u Obrenovcu. Mleč je pokazao obrnuti sezonski trend u dostizanju maksimalnih količina Chl b u odnosu na Chl a. Naime, minimalne koncentracije Chl b su izmerene u oktobru, izuzev u Pančevu, dok su maksimalne vrednosti zabeležene u junu, osim u Obrenovcu gde je maksimum dostignut u avgustu. U listovima mleča tokom cele sezone utvrđene su značajne razlike u sadržaju Chl b između ispitivanih lokaliteta i kontrole ($p<0,001$), sa izuzetkom u Beogradu tokom cele sezone (ns).

Sadržaj Chl b u listovima javora tokom sezone se kretao u opsegu od 1,47 mg/g na kontrolnom lokalitetu do 4,31 mg/g u Pančevu. Slično kao i kod mleča, minimalne koncentracije Chl b su izmerene tokom oktobra, osim u Beogradu, a

maksimalne tokom juna sa izuzetkom javora sa kontrolnog lokaliteta gde su maksimalne koncentracije izmerene u avgustu. Različit sezonski trend u sadržaju Chl b u odnosu na Chl a je zapažen i kod javora. Pa tako, sadržaj Chl b na ispitivanim lokalitetima se u junu značajno razlikovao u odnosu na kontrolni lokalitet ($p < 0,001$), a zatim do kraja sezone nije bilo značajnih razlika (ns), osim u oktobru u Pančevu i Beogradu.

Sadržaj Chl b u listovima breze tokom sezone se kretao u opsegu od 0,71 mg/g u Beogradu do 2,57 mg/g na kontrolnom lokalitetu i takođe pokazuje suprotan trend u odnosu na Chl a. U odnosu na kontrolni lokalitet nije bilo značajnih razlika u sadržaju Chl b, osim u junu u Pančevu i Beogradu i oktobru u Pančevu i Obrenovcu.

Upoređujući sadržaj Chl b između vrsta uočeno je da je breza iz parkova u Pančevu, Smederevu, Obrenovcu i Beogradu tokom cele sezone imala niži sadržaj Chl b u odnosu na druge dve vrste, izuzetak predstavlja javor iz Obrenovca u oktobru. Na kontrolnom lokalitetu tokom cele vegetacijske sezone mleč je imao najniži sadržaj Chl b.

Sadržaj ukupnog Chl a+b u listovima mleča je tokom sezone varirao od 4.20 mg/g u Beogradu do 14,61 mg/g u Obrenovcu. Minimalan sadržaj Chl a+b je izmeren u junu, a maksimalan u avgustu na svim lokalitetima, osim u Smederevu gde su minimalne vrednosti izmerene u avgustu, a maksimalne u oktobru. U listovima mleča tokom cele sezone utvrđene su značajne razlike u sadržaju Chl a+b između ispitivanih lokaliteta i kontrole ($p < 0,001$), sa izuzetkom u Beogradu tokom cele sezone (ns).

U listovima javora sadržaj Chl a+b se tokom sezone kretao u opsegu od 4,20 mg/g na kontrolnom lokalitetu do 11,28 mg/g u Beogradu. U Pančevu, Smederevu i na kontrolnom lokalitetu, minimalan sadržaj Chl a+b je izmeren u junu, a maksimalan u avgustu. U Obrenovcu minimalan sadržaj Chl a+b je zabeležen u oktobru, a maksimalan u avgustu, dok je u Beogradu minimum u avgustu, a maksimum u oktobru. U listovima javora u junu utvrđene su značajne razlike u sadržaju Chl a+b između ispitivanih lokaliteta i kontrole ($p < 0,001$), dok dalje tokom sezone sadržaj Chl a+b je na svim lokalitetima bio isti kao na kontroli, izuzev u oktobru u Smederevu i Beogradu (ns).

Količina Chl a+b u listovima breze se tokom sezone kretala od 3,57 mg/g u Beogradu do 8,85 mg/g u Obrenovcu. U Pančevu, Obrenovcu i na kontrolnom lokalitetu minimalan sadržaj Chl a+b je izmeren u junu, a maksimalan u oktobru, odnosno u

avgustu na kontrolnom lokalitetu. U Smederevu i Beogradu sadržaj Chl a+b se neznatno menjao tokom sezone. Ustanovljena pravilnost kod Chl b u odnosu na kontrolu je primećena i kod Chl a+b. U odnosu na kontrolni lokalitet nije bilo značajnih razlika u sadržaju Chl a+b, osim u junu u Pančevu i Beogradu i oktobru u Pančevu i Obrenovcu.

Upoređujući sadržaj Chl a+b kod ispitivanih vrsta uočeno je da breza iz parkova u Pančevu, Smederevu, Obrenovcu i Beogradu u junu i avgustu i u Pančevu, Smederevu i Beogradu u oktobru imala niži sadržaj Chl a+b u odnosu na druge dve vrste. Na kontrolnom lokalitetu tokom cele sezone nije bilo značajnih razlika (ns) u sadržaju Chl a+b između ispitivanih vrsta, osim u avgustu gde je utvrđena razlika između mleča i javora ($p < 0,001$).

Odnos Chl a/b u listovima mleča se tokom sezone kretao u opsegu od 0,95 u Obrenovcu do 3,51 u Beogradu. Najmanji odnos Chl a/b na svim lokalitetima je zabeležen u junu, dok su najveće vrednosti dostignute u avgustu, odnosno u oktobru u Smederevu. U junu i oktobru nema značajnih razlika u Chl a/b između ispitivanih lokaliteta i kontrole (ns), osim u Pančevu u oktobru ($p < 0,001$). U avgustu utvrđene su značajne razlike u sadržaju Chl a/b između ispitivanih lokaliteta i kontrole, osim u Smederevu (ns).

Odnos Chl a/b kod javora tokom sezone je varirao od 0,92 u Pančevu do 3,76 u Smederevu. Najmanji odnos Chl a/b u listovima javora je izmeren u junu, a najveće u oktobru na svim lokalitetima. Tokom cele sezone nije bilo značajnih razlika u odnosu Chl a/b između ispitivanih lokaliteta i kontrole (ns), osim u Smederevu u oktobru ($p < 0,01$).

Odnos Chl a/b u listovima breze tokom sezone se kretao u intervalu od 0,91 u Smederevu do 4,04 u Beogradu. Kao i kod druge dve vrste, minimalan Chl a/b u listovima breze je izmeren u junu na svim lokalitetima, a maksimalan Chl a/b je utvrđen u oktobru, osim u Pančevu gde su maksimalne vrednosti bile u avgustu. Tokom cele sezone nije bilo značajnih razlika u sadržaju Chl a/b između ispitivanih lokaliteta i kontrole (ns), osim u junu i oktobru u Pančevu ($p < 0,01$; $p < 0,001$).

Upoređujući odnos Chl a/b u listovima ispitivanih vrsta tokom sezone konstatovano je da u junu nije bilo značajnih razlika, osim u Pančevu gde su uočene značajne razlike između breze i druge dve vrste. U avgustu, mleč u Smederevu, Obrenovcu i Beogradu je imao niži odnos Chl a/b u odnosu na druge dve ispitivane

vrste, a najniži javor iz parka u Pančevu i na kontroli. Slično kao u avgustu, u oktobru u Pančevu, Smederevu i Obrenovcu mleč je imao niži Chl a/b u odnosu na druge dve vrste, dok je u Beogradu i na kontroli to bio javor.

U listovima mleča, sadržaj Tot Carot tokom sezone se kretao u opsegu od 0,980 mg/g u Beogradu do 2,314 mg/g u Pančevu. Listovi mleča su pokazali najniži sadržaj Tot Carot u junu na svim lokalitetima, osim u Smederevu gde su minimalne koncentracije izmerene u avgustu. Tokom sezone njihov sadržaj se povećavao i dostigao pik u avgustu u listovima mleča iz Pančeva, Beograda i kontrole, odnosno u oktobru u Smederevu i Obrenovcu. U junu nije bilo značajnih razlika u sadržaju Tot Carot na ispitivanim lokalitetima u odnosu na kontrolu, dok su u avgustu bile utvrđene razlike u Pančevu i Obrenovcu i u oktobru u Pančevu, Smederevu i Obrenovcu u odnosu na kontrolu ($p < 0,001$).

U listovima javora, sadržaj Tot Carot je bio u sličnom opsegu kao kod mleča i kretao se od 0,914 mg/g u Obrenovcu do 2,283 mg/g u Beogradu. Utvrđena je sezonska pravilnost pri čemu su minimalne koncentracije na svim lokalitetima izmerene u junu a maksimalne u oktobru, osim na kontrolnom lokalitetu. Na početku i kraju vegetacijske sezone, utvrđene su značajne razlike u sadržaju Tot Carot između ispitivanih lokaliteta i kontrole, osim u Obrenovcu (ns). Tokom avgusta nije bilo značajnih razlika između ispitivanih lokaliteta i kontrole (ns).

Sadržaj Tot Carot u listovima breze tokom istraživanog perioda je varirao u intervalu od 0,858 mg/g u Beogradu do 1,716 mg/g u Pančevu. Kao i kod druge dve ispitivane vrste, minimalne koncentracije Tot Carot su izmerene u junu, međutim njihov maksimalan sadržaj je bio izmeren u avgustu na svim lokalitetima, osim u Pančevu gde su maksimumi dostignuti u oktobru. U listovima breze iz Obrenovca sadržaj Tot Carot nije značajno varirao. U slučaju breze, utvrđeno je da tokom cele sezone nije bilo značajnih razlika između ispitivanih lokaliteta i kontrole (ns), osim u avgustu u Beogradu ($p < 0,05$) i u oktobru u Pančevu ($p < 0,001$).

Upoređujući sadržaj Tot Carot u listovima mleča, javora i breze po sezonskim presecima, uočljivo je da na početku sezone nije bilo razlika između vrsta. Ovakav trend se nastavio u avgustu u Smederevu i Obrenovcu, odnosno u oktobru u Pančevu i na kontroli. Takođe, uočeno je da je u avgustu mleč iz Pančeva imao značajno viši sadržaj Tot Carot u odnosu na javor i brezu ($p < 0,001$), dok je u Beogradu i kontroli to bio javor.

Na kraju vegetacijske sezone breza iz Smedereva, Obrenovca i Beograd je imala značajno niži sadržaj Tot Carot u odnosu na druge dve vrste ($p < 0,001$).

Na osnovu fotosintetičkog odgovora ispitivanih drvenastih vrsta može se konstatovati da se: kod mleča izdvajaju individue iz Smedereva i Beograda koje odlikuje najmanja efikasnost fotosinteze praćena nižim sadržajem Chl a, Chl b, Chl a+b i Tot Carot, kod javora se takođe izdvajaju individue iz Smedereva, a kod breze individue iz Beograda kod kojih je zabeležena najniža efikasnost fotosinteze i najniži sadržaj fotosintetskih pigmenata (Chl a, Chl b, Chl a+b, Tot Carot).

Tabela 52. Prostorna i vremenska dinamika sadržaja Chl a u listovima ispitivanih biljaka u Pančevu, Smederevu, Obrenovcu, Beogradu i na kontrolnom lokalitetu

<i>Acer platanoides</i>																		
Chl a [mg/g]	JUN						AVGUST						OKTOBAR					
	M±SD	P	S	O	B	K	M±SD	P	S	O	B	K	M±SD	P	S	O	B	K
Pančevo	4,61 ±0,28	/	ns	***	***	***	8,37 ±0,29	/	***	***	***	***	6,41 ±0,16	/	ns	ns	***	***
Smederevo	4,03 ±0,05	ns	/	ns	***	***	3,56 ±0,39	***	/	***	ns	***	6,84 ±0,34	ns	/	ns	***	***
Obrenovac	3,60 ±0,41	***	ns	/	***	***	10,22 ±0,40	***	***	/	***	***	6,47 ±0,07	ns	ns	/	***	***
Beograd	2,30 ±0,27	***	***	***	/	ns	3,38 ±0,26	***	ns	***	/	***	3,44 ±0,27	***	***	***	/	ns
Kontrola	2,66 ±0,02	***	***	***	ns	/	4,42 ±0,21	***	***	***	***	/	3,69 ±0,27	***	***	***	ns	/
<i>Acer pseudoplatanus</i>																		
Chl a [mg/g]	JUN						AVGUST						OKTOBAR					
	M±SD	P	S	O	B	K	M±SD	P	S	O	B	K	M±SD	P	S	O	B	K
Pančevo	3,97 ±0,08	/	***	ns	***	***	7,42 ±0,25	/	ns	***	***	***	7,38 ±0,36	/	ns	***	***	***
Smederevo	4,85 ±0,06	***	/	***	ns	***	7,35 ±0,19	ns	*	**	***	***	5,79 ±0,17	ns	/	***	**	***
Obrenovac	3,45 ±0,23	ns	***	/	***	***	6,62 ±0,27	***	**	/	*	***	4,42 ±0,31	***	***	/	***	ns
Beograd	5,03 ±0,07	***	ns	***	/	***	5,93 ±0,13	***	***	*	/	**	8,31 ±0,27	***	**	***	/	***
Kontrola	2,13 ±0,07	***	***	***	***	/	5,19 ±0,41	***	***	***	**	/	4,20 ±0,27	***	***	ns	***	/
<i>Betula pendula</i>																		
Chl a [mg/g]	JUN						AVGUST						OKTOBAR					
	M±SD	P	S	O	B	K	M±SD	P	S	O	B	K	M±SD	P	S	O	B	K
Pančevo	3,63 ±0,24	/	***	***	***	***	4,62 ±0,27	/	***	***	***	***	5,48 ±0,26	/	***	***	***	**
Smederevo	2,26 ±0,19	***	/	***	ns	ns	3,44 ±0,29	***	/	***	ns	***	5,09 ±0,34	***	/	***	***	ns
Obrenovac	2,80 ±0,06	***	ns	/	ns	ns	5,93 ±0,19	***	***	/	***	ns	6,82 ±0,09	***	***	/	***	***
Beograd	2,57 ±0,05	***	ns	ns	/	ns	3,67 ±0,23	***	ns	***	/	***	2,86 ±0,20	***	***	***	/	***
Kontrola	2,75 ±0,12	***	ns	ns	ns	/	5,56 ±0,21	***	***	ns	***	/	4,72 ±0,30	**	ns	***	***	/

ANOVA, n=5, *p<0,05, **p<0,001, ***p<0,001, ns-nema značajnih razlika

Tabela 53. Razlike u sadržaju Chl a u listovima ispitivanih biljaka u Pančevu, Smederevu, Obrenovcu, Beogradu i na kontrolnom lokalitetu u junu, avgustu i oktobru

Chl a [mg/g]		Pančevo				Smederevo				Obrenovac				Beograd				Kontrola			
Vrsta		M±SD	Pl	Ps	B	M±SD	Pl	Ps	B	M±SD	Pl	Ps	B	M±SD	Pl	Ps	B	M ±SD	PL	PS	B
JUN	A. platanoides	4,61 ±0,28	/	ns	***	4,03 ±0,05	/	***	***	3,60 ±0,41	/	ns	***	2,30 ±0,27	/	***	ns	2,66 ±0,016	/	ns	ns
	A. pseudoplatanus	3,97 ±0,08	ns	/	ns	4,85 ±0,06	***	/	***	3,45 ±0,23	ns	/	*	5,03 ±0,07	***	/	***	2,13 ±0,07	ns	/	ns
	B. pendula	3,63 ±0,24	***	ns	/	2,26 ±0,19	***	***	/	2,80 ±0,06	***	*	/	2,57 ±0,05	ns	***	/	2,75 ±0,12	ns	ns	/
Chl a [mg/g]		Pančevo				Smederevo				Obrenovac				Beograd				Kontrola			
Vrsta		M±SD	Pl	Ps	B	M±SD	Pl	Ps	B	M±SD	Pl	Ps	B	M±SD	Pl	Ps	B	M±SD	Pl	Ps	B
AVGUST	A. platanoides	8,37 ±0,29	/	***	***	3,56 ±0,39	/	***	ns	10,22 ±0,40	/	***	***	3,38 ±0,26	/	***	ns	4,42 ±0,21	/	**	***
	A. pseudoplatanus	7,42 ±0,25	***	/	***	7,35 ±0,19	***	/	***	6,62 ±0,27	***	/	*	5,93 ±0,13	***	/	***	5,19 ±0,41	**	/	ns
	B. pendula	4,62 ±0,27	***	***	/	3,44 ±0,29	ns	***	/	5,93 ±0,19	***	*	/	3,67 ±0,23	ns	***	/	5,56 ±0,21	***	ns	/
Chl a [mg/g]		Pančevo				Smederevo				Obrenovac				Beograd				Kontrola			
Vrsta		M±SD	Pl	Ps	B	M±SD	Pl	Ps	B	M±SD	Pl	Ps	B	M±SD	Pl	Ps	B	M±SD	Pl	Ps	B
OKTOBAR	A. platanoides	6,41 ±0,16	/	***	***	6,84 ±0,34	/	**	***	6,47 ±0,07	/	***	ns	3,44 ±0,27	/	***	ns	3,69 ±0,27	/	ns	***
	A. pseudoplatanus	7,38 ±0,36	***	/	***	5,79 ±0,17	**	/	***	4,42 ±0,31	***	/	***	8,31 ±0,27	***	/	***	4,20 ±0,27	ns	/	ns
	B. pendula	5,48 ±0,26	***	***	/	5,09 ±0,34	***	***	/	6,82 ±0,09	ns	***	/	2,86 ±0,20	ns	***	/	4,72 ±0,30	***	ns	/

ANOVA, n=5, *p<0,05, **p<0,001, ***p<0,001, ns-nema značajnih razlika

Tabela 54. Prostorna i vremenska dinamika sadržaja Chl b u listovima ispitivanih biljaka u Pančevu, Smederevu, Obrenovcu, Beogradu i na kontrolnom lokalitetu

<i>Acer platanoides</i>																		
Chl b [mg/g]	JUN						AVGUST						OKTOBAR					
	M±SD	P	S	O	B	K	M±SD	P	S	O	B	K	M±SD	P	S	O	B	K
Pančevo	4,35 ±0,28	/	***	ns	***	***	2,42 ±0,32	/	ns	***	***	***	2,81 ±0,21	/	**	ns	***	***
Smederevo	3,42 ±0,16	***	/	ns	***	***	2,99 ±0,12	ns	/	***	***	***	2,10 ±0,20	**	/	ns	***	***
Obrenovac	3,78 ±0,28	ns	ns	/	***	***	4,39 ±0,30	***	***	/	***	***	2,27 ±0,25	ns	ns	/	***	***
Beograd	1,91 ±0,14	***	***	***	/	ns	1,64 ±0,31	***	***	***	/	ns	0,98 ±0,04	***	***	***	/	ns
Kontrola	1,96 ±0,27	***	***	***	ns	/	1,40 ±0,28	***	***	***	ns	/	1,13 ±0,11	***	***	***	ns	/
<i>Acer pseudoplatanus</i>																		
Chl b [mg/g]	JUN						AVGUST						OKTOBAR					
	M±SD	P	S	O	B	K	M±SD	P	S	O	B	K	M±SD	P	S	O	B	K
Pančevo	4,31 ±0,28	/	ns	***	ns	***	2,63 ±0,24	/	ns	ns	ns	ns	2,44 ±0,35	/	ns	***	ns	***
Smederevo	4,30 ±0,22	ns	/	***	ns	***	2,37 ±0,24	ns	/	ns	ns	ns	2,03 ±0,15	ns	/	ns	***	ns
Obrenovac	3,38 ±0,11	***	***	/	***	***	2,45 ±0,28	ns	ns	/	ns	ns	1,52 ±0,17	***	ns	/	***	ns
Beograd	4,29 ±0,29	ns	ns	***	/	***	2,20 ±0,13	ns	ns	ns	/	ns	2,96 ±0,54	ns	***	***	/	***
Kontrola	2,07±0,18	***	***	***	***	/	2,18 ±0,27	ns	ns	ns	ns	/	1,47 ±0,18	***	ns	ns	***	/
<i>Betula pendula</i>																		
Chl b [mg/g]	JUN						AVGUST						OKTOBAR					
	M±SD	P	S	O	B	K	M±SD	P	S	O	B	K	M±SD	P	S	O	B	K
Pančevo	1,81 ±0,20	/	**	ns	ns	***	1,37 ±0,22	/	ns	ns	ns	ns	2,04 ±0,21	/	ns	ns	***	***
Smederevo	2,50 ±0,25	**	/	ns	***	ns	1,27 ±0,18	ns	/	ns	ns	ns	1,52 ±0,35	ns	/	ns	***	ns
Obrenovac	2,16 ±0,14	ns	ns	/	**	ns	1,81 ±0,08	ns	ns	/	***	ns	2,03 ±0,14	ns	ns	/	***	***
Beograd	1,46 ±0,14	ns	***	**	/	***	1,03 ±0,16	ns	ns	***	/	ns	0,71 ±0,08	***	***	***	/	ns
Kontrola	2,57 ±0,32	***	ns	ns	***	/	1,63 ±0,18	ns	ns	ns	ns	/	1,21 ±0,04	***	ns	***	ns	/

ANOVA, n=5, *p<0,05, **p<0,001, ***p<0,001, ns-nema značajnih razlika

Tabela 55. Razlike u sadržaju Chl b u listovima ispitivanih biljaka u Pančevu, Smederevu, Obrenovcu, Beogradu i na kontrolnom lokalitetu u junu, avgustu i oktobru

Chl b [mg/g]		Pančevo				Smederevo				Obrenovac				Beograd				Kontrola			
Vrsta		M±SD	Pl	Ps	B	M±SD	Pl	Ps	B	M±SD	Pl	Ps	B	M±SD	Pl	Ps	B	M±SD	Pl	Ps	B
JUN	A. platanoides	4,35 ±0,28	/	ns	***	3,42 ±0,16	/	***	***	3,783 ±0,28	/	ns	***	1,91 ±0,14	/	***	ns	1,96 ±0,27	/	ns	ns
	A. pseudoplatanus	4,31 ±0,28	ns	/	***	4,30 ±0,22	***	/	***	3,38 ±0,11	ns	/	***	4,29 ±0,29	***	/	***	2,07 ±0,18	ns	/	ns
	B. pendula	1,81 ±0,20	***	***	/	2,50 ±0,25	***	***	/	2,16 ±0,14	***	***	/	1,46 ±0,14	ns	***	/	2,57 ±0,32	ns	ns	/
Chl b [mg/g]		Pančevo				Smederevo				Obrenovac				Beograd				Kontrola			
Vrsta		M±SD	Pl	Ps	B	M±SD	Pl	Ps	B	M±SD	Pl	Ps	B	M±SD	Pl	Ps	B	M±SD	Pl	Ps	B
AVGUST	A. platanoides	2,42 ±0,32	/	ns	***	2,99 ±0,12	/	*	***	4,39 ±0,30	/	***	***	1,64 ±0,31	/	ns	ns	1,40 ±0,28	/	***	ns
	A. pseudoplatanus	2,63 ±0,24	ns	/	***	2,37 ±0,24	*	/	***	2,45 ±0,28	***	/	*	2,20 ±0,13	ns	/	***	2,18 ±0,27	***	/	ns
	B. pendula	1,37 ±0,22	***	***	/	1,27 ±0,182	***	***	/	1,81 ±0,08	***	*	/	1,03 ±0,16	ns	***	/	1,63 ±0,18	ns	ns	/
Chl b [mg/g]		Pančevo				Smederevo				Obrenovac				Beograd				Kontrola			
Vrsta		M±SD	Pl	Ps	B	M±SD	Pl	Ps	B	M±SD	Pl	Ps	B	M±SD	Pl	Ps	B	M±SD	Pl	Ps	B
OKTOBAR	A. platanoides	2,81 ±0,21	/	ns	***	2,10 ±0,20	/	ns	ns	2,27 ±0,25	/	**	ns	0,98 ±0,04	/	***	ns	1,13 ±0,11	/	ns	ns
	A. pseudoplatanus	2,44 ±0,35	ns	/	ns	2,03 ±0,15	ns	/	ns	1,53 ±0,17	**	/	ns	2,96 ±0,54	***	/	***	1,47 ±0,18	ns	/	ns
	B. pendula	2,04 ±0,21	***	ns	/	1,52 ±0,35	ns	ns	/	2,03 ±0,14	ns	ns	/	0,71 ±0,08	ns	***	/	1,21 ±0,04	ns	ns	/

ANOVA, n=5, *p<0,05, **p<0,001, ***p<0,001, ns-nema značajnih razlika

Tabela 56. Prostorna i vremenska dinamika sadržaja Chl a+b u listovima ispitivanih biljaka u Pančevu, Smederevu, Obrenovcu, Beogradu i na kontrolnom lokalitetu

<i>Acer platanoides</i>																		
Chl a+b [mg/g]	JUN						AVGUST						OKTOBAR					
	M±SD	P	S	O	B	K	M±SD	P	S	O	B	K	M±SD	P	S	O	B	K
Pančevo	8,96 ±0,52	/	***	ns	***	***	10,79 ±0,41	/	ns	***	***	***	9,22 ±0,18	/	**	ns	***	***
Smederevo	7,45 ±0,18	***	/	ns	***	***	6,56 ±0,40	ns	/	***	***	***	8,93 ±0,53	**	/	ns	***	***
Obrenovac	7,38 ±0,60	ns	ns	/	***	***	14,61 ±0,64	***	***	/	***	***	8,74 ±0,25	ns	ns	/	***	***
Beograd	4,20 ±0,39	***	***	***	/	ns	5,02 ±0,40	***	***	***	/	ns	4,42 ±0,29	***	***	***	/	ns
Kontrola	4,62 ±0,41	***	***	***	ns	/	5,83 ±0,13	***	***	***	ns	/	4,82 ±0,36	***	***	***	ns	/
<i>Acer pseudoplatanus</i>																		
Chl a+b [mg/g]	JUN						AVGUST						OKTOBAR					
	M±SD	P	S	O	B	K	M±SD	P	S	O	B	K	M±SD	P	S	O	B	K
Pančevo	8,28 ±0,33	/	ns	***	ns	***	10,05 ±0,45	/	ns	ns	ns	ns	9,82 ±0,70	/	ns	***	ns	***
Smederevo	9,16 ±0,27	ns	/	***	ns	***	9,72 ±0,33	ns	/	ns	ns	ns	9,62 ±0,28	ns	/	ns	***	ns
Obrenovac	6,83 ±0,20	***	***	/	***	***	9,08 ±0,47	ns	ns	/	ns	ns	5,95 ±0,39	***	ns	/	***	ns
Beograd	9,32 ±0,31	ns	ns	***	/	***	8,13 ±0,13	ns	ns	ns	/	ns	11,28 ±0,78	ns	***	***	/	***
Kontrola	4,20 ±0,203	***	***	***	***	/	7,38 ±0,63	ns	ns	ns	ns	/	5,68 ±0,33	***	ns	ns	***	/
<i>Betula pendula</i>																		
Chl a+b [mg/g]	JUN						AVGUST						OKTOBAR					
	M±SD	P	S	O	B	K	M±SD	P	S	O	B	K	M±SD	P	S	O	B	K
Pančevo	5,43 ±0,37	/	**	ns	ns	***	5,99 ±0,43	/	ns	ns	ns	ns	7,52 ±0,31	/	ns	ns	***	***
Smederevo	4,76 ±0,29	**	/	ns	***	ns	4,70 ±0,37	ns	/	ns	ns	ns	4,96 ±0,11	ns	/	ns	***	ns
Obrenovac	4,96 ±0,11	ns	ns	/	**	ns	7,74 ±0,26	ns	ns	/	***	ns	8,85 ±0,14	ns	ns	/	***	***
Beograd	4,02 ±0,15	ns	***	**	/	***	4,70 ±0,28	ns	ns	***	/	ns	3,57 ±0,27	***	***	***	/	ns
Kontrola	5,31 ±0,24	***	ns	ns	***	/	7,19 ±0,32	ns	ns	ns	ns	/	5,93 ±0,32	***	ns	***	ns	/

ANOVA, n=5, *p<0,05, **p<0,001, ***p<0,001, ns-nema značajnih razlika

Tabela 57. Razlike u sadržaju Chl a+b u listovima ispitivanih biljaka u Pančevu, Smederevu, Obrenovcu, Beogradu i na kontrolnom lokalitetu u junu, avgustu i oktobru

Chl a+b [mg/g]		Pančevo			Smederevo			Obrenovac			Beograd			Kontrola							
Vrsta		M±SD	Pl	Ps	B	M±SD	Pl	Ps	B	M±SD	Pl	Ps	B	M±SD	Pl	Ps	B	M±SD	Pl	Ps	B
JUN	A. platanoides	8,96 ±0,52	/	ns	***	7,45 ±0,18	/	***	***	7,38 ±0,60	/	ns	***	4,20 ±0,39	/	***	ns	4,62 ±0,41	/	ns	ns
	A. pseudoplatanus	8,28 ±0,33	ns	/	***	9,16 ±0,27	***	/	***	6,83 ±0,20	ns	/	***	9,32 ±0,31	***	/	***	4,20 ±0,20	ns	/	ns
	B. pendula	5,43 ±0,37	***	***	/	4,76 ±0,29	***	***	/	4,96 ±0,11	***	***	/	4,02 ±0,15	ns	***	/	5,31 ±0,24	ns	ns	/
Chl a+b [mg/g]		Pančevo			Smederevo			Obrenovac			Beograd			Kontrola							
Vrsta		M±SD	Pl	Ps	B	M±SD	Pl	Ps	B	M±SD	Pl	Ps	B	M±SD	Pl	Ps	B	M±SD	Pl	Ps	B
AVGUST	A. platanoides	10,79 ±0,41	/	ns	***	6,56 ±0,40	/	*	***	14,61 ±0,64	/	***	***	5,02 ±0,40	/	ns	ns	5,83 ±0,13	/	***	ns
	A. pseudoplatanus	10,05 ±0,45	ns	/	***	9,72 ±0,33	*	/	***	9,08 ±0,47	***	/	*	8,13 ±0,13	ns	/	***	7,38 ±0,63	***	/	ns
	B. pendula	5,99 ±0,427	***	***	/	4,70 ±0,37	***	***	/	7,74 ±0,26	***	*	/	4,70 ±0,28	ns	***	/	7,19 ±0,32	ns	ns	/
Chl a+b [mg/g]		Pančevo			Smederevo			Obrenovac			Beograd			Kontrola							
Vrsta		M±SD	Pl	Ps	B	M±SD	Pl	Ps	B	M±SD	Pl	Ps	B	M±SD	Pl	Ps	B	M±SD	Pl	Ps	B
OKTOBAR	A. platanoides	9,22 ±0,18	/	ns	***	8,93 ±0,53	/	ns	ns	8,74 ±0,25	/	**	ns	4,42 ±0,29	/	***	ns	4,82 ±0,36	/	ns	ns
	A. pseudoplatanus	9,82 ±0,70	ns	/	ns	9,62 ±0,28	ns	/	ns	5,95 ±0,39	**	/	ns	11,28 ±0,78	***	/	***	5,68 ±0,33	ns	/	ns
	B. pendula	7,52 ±0,31	***	ns	/	4,96 ±0,11	ns	ns	/	8,85 ±0,14	ns	ns	/	3,57 ±0,27	ns	***	/	5,93 ±0,32	ns	ns	/

ANOVA, n=5, *p<0,05, **p<0,001, ***p<0,001, ns-nema značajnih razlika

Tabela 58. Prostorna i vremenska dinamika odnosa Chl a/b u listovima ispitivanih biljaka u Pančevu, Smederevu, Obrenovcu, Beogradu i na kontrolnom lokalitetu

<i>Acer platanoides</i>																		
Chl a/b	JUN						AVGUST						OKTOBAR					
	M±SD	P	S	O	B	K	M±SD	P	S	O	B	K	M±SD	P	S	O	B	K
Pančevo	1,06 ±0,04	/	ns	ns	ns	ns	3,50 ±0,48	/	***	***	***	ns	2,30 ±0,22	/	***	ns	***	***
Smederevo	1,18 ±0,06	ns	/	ns	ns	ns	1,19 ±0,14	***	/	***	**	***	3,27 ±0,18	***	/	ns	ns	ns
Obrenovac	0,95 ±0,10	ns	ns	/	ns	ns	2,33 ±0,11	***	***	/	ns	**	2,88 ±0,31	ns	ns	/	ns	ns
Beograd	1,20 ±0,09	ns	ns	ns	/	ns	2,14 ±0,48	***	**	ns	/	***	3,51 ±0,27	***	ns	ns	/	ns
Kontrola	1,38 ±0,13	ns	ns	ns	ns	/	3,26 ±0,67	ns	***	**	***	/	3,27 ±0,21	***	ns	ns	ns	/
<i>Acer pseudoplatanus</i>																		
Chl a/b	JUN						AVGUST						OKTOBAR					
	M±SD	P	S	O	B	K	M±SD	P	S	O	B	K	M±SD	P	S	O	B	K
Pančevo	0,92 ±0,05	/	ns	ns	ns	ns	2,84 ±0,19	/	ns	ns	ns	ns	3,06 ±0,30	/	ns	ns	ns	ns
Smederevo	1,13 ±0,05	ns	/	ns	ns	ns	3,12 ±0,31	ns	/	ns	ns	ns	3,76 ±0,26	ns	/	*	**	**
Obrenovac	1,02 ±0,09	ns	ns	/	ns	ns	2,73 ±0,29	ns	ns	/	ns	ns	2,92 ±0,33	ns	*	/	ns	ns
Beograd	1,18 ±0,08	ns	ns	ns	/	ns	2,71 ±0,20	ns	ns	ns	/	ns	2,87 ±0,44	ns	**	ns	/	ns
Kontrola	1,04 ±0,09	ns	ns	ns	ns	/	2,39 ±0,20	ns	ns	ns	ns	/	2,89 ±0,42	ns	**	ns	ns	/
<i>Betula pendula</i>																		
Chl a/b	JUN						AVGUST						OKTOBAR					
	M±SD	P	S	O	B	K	M±SD	P	S	O	B	K	M±SD	P	S	O	B	K
Pančevo	2,02 ±0,21	/	***	ns	ns	**	3,43 ±0,45	/	ns	ns	ns	ns	2,71 ±0,30	/	ns	ns	***	***
Smederevo	0,91 ±0,14	***	/	ns	**	ns	2,76 ±0,40	ns	/	ns	*	ns	3,48 ±0,78	ns	/	ns	ns	ns
Obrenovac	1,30 ±0,10	ns	ns	/	ns	ns	3,28 ±0,10	ns	ns	/	ns	ns	3,38 ±0,26	ns	ns	/	ns	ns
Beograd	1,78 ±0,18	ns	**	ns	/	ns	3,62 ±0,57	ns	*	ns	/	ns	4,04 ±0,25	***	ns	ns	/	ns
Kontrola	1,09 ±0,18	**	ns	ns	ns	/	3,44 ±0,35	ns	ns	ns	ns	/	3,90 ±0,20	***	ns	ns	ns	/

ANOVA, n=5, *p<0,05, **p<0,001, ***p<0,001, ns-nema značajnih razlika

Tabela 59. Razlike u odnosu Chl a/b u listovima ispitivanih biljaka u Pančevu, Smederevu, Obrenovcu, Beogradu i na kontrolnom lokalitetu u junu, avgustu i oktobru

	Chl a/b		Pančevo				Smederevo				Obrenovac				Beograd				Kontrola		
	Vrsta	M±SD	Pl	Ps	B	M±SD	Pl	Ps	B	M±SD	Pl	Ps	B	M±SD	Pl	Ps	B	M±SD	Pl	Ps	B
JUN	<i>A. platanooides</i>	1,06 ±0,04	/	ns	**	1,18 ±0,06	/	ns	ns	0,95 ±0,10	/	ns	ns	1,20 ±0,09	/	ns	ns	1,38 ±0,13	/	ns	ns
	<i>A. pseudoplatanus</i>	0,92 ±0,05	ns	/	***	1,13 ±0,05	ns	/	ns	1,02 ±0,09	ns	/	ns	1,18 ±0,08	ns	/	ns	1,04 ±0,09	ns	/	ns
	<i>B. pendula</i>	2,02 ±0,21	**	***	/	0,91 ±0,14	ns	ns	/	1,30 ±0,10	ns	ns	/	1,78 ±0,18	ns	ns	/	1,09 ±0,18	ns	ns	/
AVGUST	<i>A. platanooides</i>	3,50 ±0,48	/	ns	ns	1,19 ±0,14	/	***	***	2,33 ±0,11	/	ns	**	2,14 ±0,48	/	ns	***	3,26 ±0,69	/	*	ns
	<i>A. pseudoplatanus</i>	2,84 ±0,19	ns	/	ns	3,12 ±0,31	***	/	ns	2,73 ±0,29	ns	/	ns	2,71 ±0,20	ns	/	**	2,39 ±0,20	*	/	***
	<i>B. pendula</i>	3,43 ±0,45	ns	ns	/	2,76 ±0,40	***	ns	/	3,28 ±0,10	**	ns	/	3,62 ±0,57	***	**	/	3,44 ±0,35	ns	***	/
OKTOBAR	<i>A. platanooides</i>	2,30 ±0,22	/	*	ns	3,27 ±0,18	/	ns	ns	2,88 ±0,31	/	ns	ns	3,51 ±0,27	/	ns	ns	3,27 ±0,21	/	ns	ns
	<i>A. pseudoplatanus</i>	3,06 ±0,30	*	/	ns	3,76 ±0,26	ns	/	ns	2,92 ±0,33	ns	/	ns	2,87 ±0,44	ns	/	***	2,89 ±0,42	ns	/	***
	<i>B. pendula</i>	2,71 ±0,30	ns	ns	/	3,48 ±0,78	ns	ns	/	3,38 ±0,256	ns	ns	/	4,04 ±0,25	ns	***	/	3,90 ±0,20	ns	***	/

ANOVA, n=5, *p<0,05, **p<0,001, ***p<0,001, ns-nema značajnih razlika

Tabela 60. Prostorna i vremenska dinamika sadržaja Tot Carot u listovima ispitivanih biljaka u Pančevu, Smederevu, Obrenovcu, Beogradu i na kontrolnom lokalitetu

<i>Acer platanoides</i>																		
Tot Carot [mg/g]	JUN						AVGUST						OKTOBAR					
	M±SD	P	S	O	B	K	M±SD	P	S	O	B	K	M±SD	P	S	O	B	K
Pančevo	1,354 ±0,133	/	ns	ns	ns	ns	2,314 ±0,136	/	***	*	***	***	1,846 ±0,105	/	ns	ns	***	***
Smederevo	1,342 ±0,099	ns	/	ns	ns	ns	1,227 ±0,059	***	/	***	ns	ns	1,840 ±0,087	ns	/	ns	***	***
Obrenovac	1,028 ±0,057	ns	ns	/	ns	ns	1,868 ±0,123	*	***	/	***	***	2,083 ±0,137	ns	ns	/	***	***
Beograd	0,980 ±0,065	ns	ns	ns	/	ns	1,136 ±0,104	***	ns	***	/	ns	1,003 ±0,054	***	***	***	/	ns
Kontrola	1,028 ±0,042	ns	ns	ns	ns	/	1,323 ±0,080	***	ns	***	ns	/	1,186 ±0,068	***	***	***	ns	/
<i>Acer pseudoplatanus</i>																		
Tot Carot [mg/g]	JUN						AVGUST						OKTOBAR					
	M±SD	P	S	O	B	K	M±SD	P	S	O	B	K	M±SD	P	S	O	B	K
Pančevo	1,417 ±0,155	/	ns	**	ns	***	1,450 ±0,142	/	ns	*	***	ns	2,002 ±0,321	/	ns	ns	ns	***
Smederevo	1,312 ±0,069	ns	/	ns	ns	***	1,534 ±0,178	ns	/	ns	***	ns	1,975 ±0,180	ns	/	ns	ns	***
Obrenovac	0,914 ±0,119	**	ns	/	ns	ns	1,914 ±0,158	*	ns	/	ns	ns	1,619 ±0,082	ns	ns	/	***	ns
Beograd	1,274 ±0,077	ns	ns	ns	/	**	2,142 ±0,147	***	***	ns	/	ns	2,283 ±0,122	ns	ns	***	/	***
Kontrola	0,751 ±0,036	***	***	ns	**	/	1,861 ±0,196	ns	ns	ns	ns	/	1,426 ±0,134	***	***	ns	***	/
<i>Betula pendula</i>																		
Tot Carot [mg/g]	JUN						AVGUST						OKTOBAR					
	M±SD	P	S	O	B	K	M±SD	P	S	O	B	K	M±SD	P	S	O	B	K
Pančevo	1,028 ±0,093	/	ns	ns	ns	ns	1,412 ±0,073	/	ns	ns	ns	ns	1,716 ±0,211	/	**	***	***	***
Smederevo	0,932 ±0,118	ns	/	ns	ns	ns	1,270 ±0,157	ns	/	**	ns	ns	1,223 ±0,522	**	/	ns	ns	ns
Obrenovac	1,054 ±0,022	ns	ns	/	ns	ns	1,781 ±0,179	ns	**	/	***	ns	1,046 ±0,512	***	ns	/	ns	ns
Beograd	0,858 ±0,093	ns	ns	ns	/	ns	1,121 ±0,117	ns	ns	***	/	*	0,862 ±0,056	***	ns	ns	/	ns
Kontrola	0,863 ±0,103	ns	ns	ns	ns	/	1,576 ±0,116	ns	ns	ns	*	/	1,162 ±0,138	***	ns	ns	ns	/

ANOVA, n=5, *p<0,05, **p<0,01, ***p<0,001, ns-nema značajnih razlika

Tabela 61. Razlike u sadržaju Tot Carot u listovima ispitivanih biljaka u Pančevu, Smederevu, Obrenovcu, Beogradu i na kontrolnom lokalitetu u junu, avgustu i oktobru

	Tot Carot [mg/g]		Pančevo			Smederevo			Obrenovac			Beograd			Kontrola						
	Vrsta	M±SD	Pl	Ps	B	M±SD	Pl	Ps	B	M±SD	Pl	Ps	B	M±SD	Pl	Ps	B	M±SD	Pl	Ps	B
JUN	<i>A. platanoides</i>	1,354 ±0,133	/	ns	ns	1,342 ±0,099	/	ns	ns	1,028 ±0,057	/	ns	ns	0,980 ±0,065	/	ns	ns	1,028 ±0,042	/	ns	ns
	<i>A. pseudoplatanus</i>	1,417 ±0,155	ns	/	ns	1,312 ±0,069	ns	/	ns	0,914 ±0,119	ns	/	ns	1,274 ±0,077	ns	/	ns	0,751 ±0,036	ns	/	ns
	<i>B. pendula</i>	1,028 ±0,093	ns	ns	/	0,932 ±0,118	ns	ns	/	1,054 ±0,022	ns	ns	/	0,858 ±0,093	ns	ns	/	0,863 ±0,103	ns	ns	/
	Tot Carot [mg/g]		Pančevo			Smederevo			Obrenovac			Beograd			Kontrola						
	Vrsta	M±SD	M±SD	Pl	Ps	B	M±SD	Pl	Ps	B	M±SD	Pl	Ps	B	M±SD	Pl	Ps	B	M±SD	Pl	Ps
AVGUST	<i>A. platanoides</i>	2,314 ±0,136	/	***	***	1,227 ±0,059	/	ns	ns	1,868 ±0,123	/	ns	ns	1,136 ±0,104	/	***	ns	1,323 ±0,080	/	***	ns
	<i>A. pseudoplatanus</i>	1,450 ±0,142	***	/	ns	1,534 ±0,178	ns	/	ns	1,914 ±0,158	ns	/	ns	2,142 ±0,147	***	/	***	1,861 ±0,196	***	/	ns
	<i>B. pendula</i>	1,412 ±0,073	***	ns	/	1,270 ±0,157	ns	ns	/	1,781 ±0,179	ns	ns	/	1,121 ±0,117	ns	***	/	1,576 ±0,116	ns	ns	/
	Tot Carot [mg/g]		Pančevo			Smederevo			Obrenovac			Beograd			Kontrola						
	Vrsta	M±SD	Pl	Ps	B	M±SD	Pl	Ps	B	M±SD	Pl	Ps	B	M±SD	Pl	Ps	B	M±SD	Pl	Ps	B
OKTOBAR	<i>A. platanoides</i>	1,846 ±0,105	/	ns	ns	1,840 ±0,087	/	ns	***	2,083 ±0,137	/	*	***	1,003 ±0,054	/	***	ns	1,186 ±0,068	/	ns	ns
	<i>A. pseudoplatanus</i>	2,002 ±0,321	ns	/	ns	1,975 ±0,180	ns	/	***	1,619 ±0,082	*	/	***	2,283 ±0,122	***	/	***	1,426 ±0,134	ns	/	ns
	<i>B. pendula</i>	1,716 ±0,211	ns	ns	/	1,223 ±0,522	***	***	/	1,046 ±0,512	***	***	/	0,862 ±0,056	ns	***	/	1,162 ±0,138	ns	ns	/

ANOVA, n=5, *p<0,05, **p<0,01, ***p<0,001, ns-nema značajnih razlika

5.3.1.1. Odnos između sadržaja potencijalno toksičnih elemenata, kinetike fluorescencije hlorofila, količine hlorofila i karotenoida u listovima ispitivanih biljaka

Analizom Pirsonovog koeficijenta korelacije utvrđeni su međusobni odnosi između hemijskih elemenata u listovima ispitivanih vrsta iz Pančeva, Smedereva, Obrenovca, Beograda i kontrolnog lokaliteta i parametra efikasnosti fotosinteze (F_v/F_m), količine hlorofila i količine karotenoida tokom juna, avgusta i oktobra. Dobijeni rezultati pružaju informacije o uticaju hemijskih elemenata na fotosintetički odgovor izabranih drvenastih vrsta. U razmatranje su uzeti samo statistički značajni koeficijenti korelacije (* $p < 0,05$, ** $p < 0,01$).

Kod ispitivanih vrsta je utvrđen različit efekat potencijalno toksičnih elemenata na kinetiku fluorescencije i količinu fotosintetičkih pigmenata. Kod mleča, sadržaj potencijalno toksičnih elemenata u listovima nije bio korelisan sa parametrom efikasnosti fotosinteze (F_v/F_m), međutim tokom juna su utvrđene značajne negativne korelacije u Smederevu između F_v/F_m - Zn (-0,924*) i u Beogradu između F_v/F_m - Sr (-0,995**). Tokom oktobra značajne pozitivne korelacije su konstantovane u Pančevu između F_v/F_m - Sr (0,912*) i u Beogradu između F_v/F_m - Mn (0,988**), a značajne negativne korelacije u Smederevu za F_v/F_m - Fe (-0,906*). U listovima mleča u junu je primećena pozitivna korelacija u Pančevu između Chl a - Zn (0,965**), u Beogradu između Chl a - Mn (0,921*), kao i značajna negativna korelacija u Pančevu između Chl a - Ni (-0,964**) i kontroli između Chl a - Al (-0,974). U junu nisu utvrđene korelacije između elemenata akumuliranih u listovima biljaka i Chl b i Tot Carot, osim u Obrenovcu gde je Chl b značajno pozitivno korelisan sa B (0,890*) i u Beogradu gde su Tot Carot značajno negativno korelisani sa Cr (-0,897*). U avgustu nisu utvrđene korelacije između ispitivanih elemenata i fotosintetičkih pigmenata, osim značajne pozitivne korelacije u Pančevu za Chl b - Fe (0,970**) i u Smederevu za Chl b - Cr (0,940*) i značajne negativne na kontroli za Tot Carot - Al (-0,930*). U oktobru nisu ustanovljene statistički značajne korelacije ispitivanih elemenata sa Chl a i Chl b, jedino je u Pančevu ustanovljena značajna negativna korelacija između Chl b - Cr (-0,887*). Za razliku od Chl a i Chl b, u oktobru su ustanovljene značajne pozitivne korelacije u Pančevu između Tot Carot - Zn (0,943*) i Tot Carot - Cr (0,895*) i u Beogradu između

Tot Carot - Mn (0,890*), dok su značajne negativne korelacije uočene u Smederevu za Tot Carot - B (-0,948*).

U listovima javora u junu značajne pozitivne korelacije su utvrđene u Obrenovcu između Fv/Fm - Pb (0,903*) i u Beogradu za Fv/Fm - Mn (0,910*) i Fv/Fm - Sr (0,977**). U avgustu značajne pozitivne korelacije uočene su u Pančevu za Fv/Fm - B (0,942*), a značajne negativne u Obrenovcu za Fv/Fm - Al (-0,947*). U oktobru nije bilo značajnih korelacija između ispitivanih elemenata i parametra efikasnosti fotosinteze (Fv/Fm). U listovima javora u junu nisu utvrđene statistički značajne korelacije između Chl a i ispitivanih elemenata, osim u Obrenovcu gde je konstantovana značajna pozitivna korelacija sa Al (0,961**) i značajna negativna sa Mn (-0,954*). Za razliku od Chl a, Chl b je značajno pozitivno korelisan sa Mn na kontroli (0,978**) i značajno negativno sa B u Pančevu (-0,955*) i Zn u Beogradu (-0,935*), Pozitivne korelacije su konstantovane i između Tot Carot - Al u Pančevu (0,933*) i u Obrenovcu (0,926*), dok su negativne postojale u Pančevu za Tot Carot - Cu (-0,956*), u Obrenovcu za Tot Carot - Mn (-0,906*) i na kontroli za Tot Carot - Cu (-0,901*). U avgustu Chl a je bio pozitivno korelisan sa B (0,946*) i Sr (0,902*) u Beogradu i negativno sa Sr (-0,960**) u Smederevu i sa Mn (-0,983**) u Obrenovcu. Nisu utvrđene statistički značajne pozitivne korelacije ispitivanih elemenata sa Chl b i Tot Carot, dok su značajne negativne korelacije nađene u Beogradu za Chl b - Mn (-0,921*) i na kontroli za Chl b - Fe (-0,921*) i Tot Carot - Fe (-0,923). U oktobru sadržaj potencijalno toksičnih elemenata u listovima nije bio korelisan sa Chl a, osim sa Mn (0,907*) u Smederevu i u Pančevu (-0,936*). Chl b je u oktobru u Smederevu bio korelisan sa Al (-0,919*), Cu (0,899*) i Sr (0,929*), u Obrenovcu sa Fe (0,970**) i na kontroli sa Cu (0,889*). Za razliku od Chl a i Chl b, nisu utvrđene korelacije između elemenata akumuliranih u listovima biljaka i Tot Carot, osim sa Sr (-0,895*) u Obrenovcu.

Kod breze u junu, sadržaj potencijalno toksičnih elemenata u listovima nije bio korelisan sa Fv/Fm, dok su u avgustu značajne pozitivne korelacije utvrđene su u Smederevu za Fv/Fm - Zn (0,981**), a značajne negativne u Pančevu za Fv/Fm - Cr (-0,893*) i u oktobru u Smederevu za Fv/Fm - Cr (0,893*) i u Beogradu za Fv/Fm - Sr (0,965**). Kod breze, u junu uočene su pozitivne korelacije u Smederevu za Chl a - Al (0,888*), u Obrenovcu za Chl a - B (0,903*) i na kontroli za Chl a - Al (0,935*), kao i

negativne u Beogradu za Chl a - Sr (-0,945*). Za razliku od Chl a, nisu utvrđene korelacije između elemenata akumuliranih u listovima biljaka i Chl b i Tot Carot, osim u Pančevu Chl b - Cr (-0,892*) i u Smederevu Tot Carot - Sr (-0,908*). U avgustu su utvrđene pozitivne korelacije u Obrenovcu za Chl a - Sr (0,920*), a negativne u Pančevu za Chl a - Fe (-0,903*) i u Obrenovcu za Chl a - B (-0,966**) i Chl a - Zn (-0,911*). U avgustu nisu utvrđene korelacije između ispitivanih elemenata i Chl b, osim u Smederevu sa Fe (-0,922*) i u Obrenovcu sa Al (0,899*). Tot Carot su u avgustu pozitivno korelisani sa: Al (0,906*) u Pančevu, Cr (0,953*) u Smederevu i Sr (0,940*) na kontroli i negativno sa Zn (-0,925*) na kontroli. Kod breze, u oktobru nisu utvrđene korelacije između ispitivanih elemenata sa fotosintetskim pigmentima, osim na kontroli Chl a - Al (0,895*) i Tot Carot - Cr (0,886*).

5.3.1.2. Razlike između vrsta utvrđene na osnovu sadržaja potencijalno toksičnih elemenata u listovima i fizioloških parametara

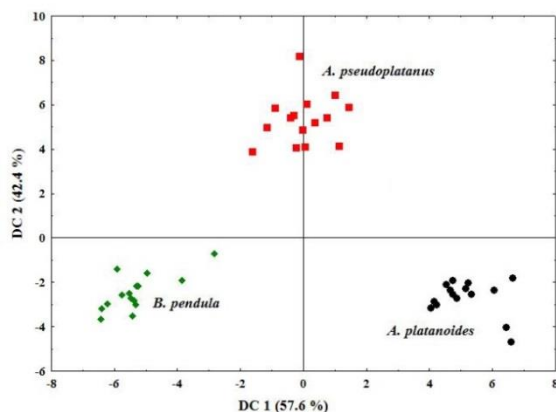
Diskriminantna analiza je primenjena u cilju utvrđivanja razlika između ispitivanih vrsta na osnovu sadržaja hemijskih elemenata (varijable: (Al, B, Cu, Fe, Mn, Sr i Zn), Fv/Fm, Chl a, Chl b i Tot Carot) u listovima i rezultati su prikazani na Slici 14. Na svim lokalitetima je uočeno jasno razdvajanje između vrsta. U Pančevu, na razdvajanje vrsta na osnovu prve diskriminantne funkcije (DC1) koja objašnjava 57,6 % razlika najviše utiču Chl a i Zn, odnosno na osnovu DC2 koja objašnjava 42,4 % razlika najviše utiču Zn, Sr i Chl b. U Smederevu, razlikovanju vrsta doprinose B, Cu i Chl a (DC1, 76,4 %), odnosno Sr i Fe (DC2, 26,6%), a u Obrenovcu Zn i Sr (DC1, 83,6 %), odnosno B i Chl a (DC2, 14,4 %). U Beogradu i na kontrolnom lokalitetu na razdvajanje vrsta na osnovu DC1 koja objašnjava 98,2 %, odnosno 83,2 % razlika najviše doprinose Sr i Fe.

5.3.1.3. Razlike između lokaliteta utvrđene na osnovu sadržaja potencijalno toksičnih elemenata u listovima i fizioloških parametara

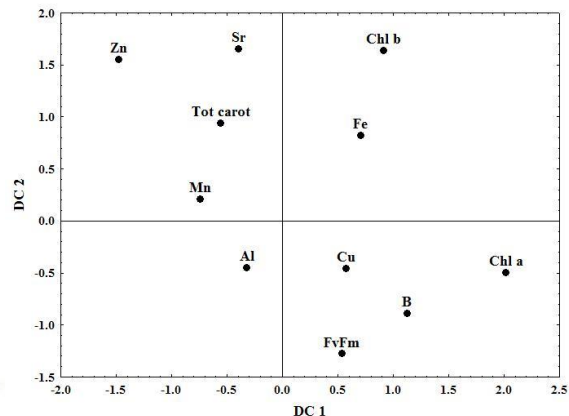
Kada je o lokalitetima reč, takođe su utvrđene razlike po pitanju ispitivanih parametara. Diskriminantna analiza (DA) je primenjena u cilju utvrđivanja razlika između lokaliteta na osnovu sadržaja hemijskih elemenata (varijable: (Al, B, Cu, Fe, Mn, Sr i Zn), Fv/Fm, Chl a, Chl b i Tot Carot) u listovima ispitivanih biljaka, a rezultati

su prikazani na Slici 15. Svi lokaliteti na kojima raste mlec su jasno razdvojeni. Na razdvajanje prema DC1 koja objašnjava 88,01 % razlika, na razdvajanje najviše utiče Sr, Chl a i Tot Carot, a prema DC2 koja objašnjava 11,99 % razlika na razdvajanje najviše utiče Fe. Lokaliteti (Beograd i Obrenovac) na kojima raste javor su takođe odvojeni od ostalih, pri čemu na osnovu DC 1 (58,8 %), na razdvajanje lokaliteta najviše utiče Fe, a na osnovu DC 2 (41,2 %), najveći uticaj imaju Mn i B. Kada su u pitanju lokaliteti na kojima rastu breze, na osnovu obe diskriminantne ose (DC1 54,4 % i DC2 45,6 %), jasno se odvajaju Beograd, Smederevo i Obrenovac sa jedne i Pančevo i kontrolni lokalitet sa druge strane. Na razdvajanje prema DC 1 najviše utiču Fe i Zn, a na osnovu DC2 najveći uticaj ima B.

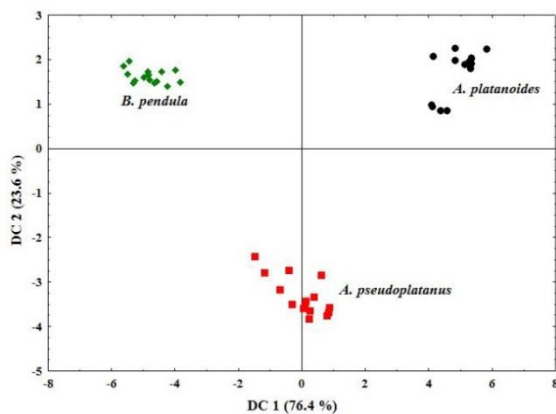
1a



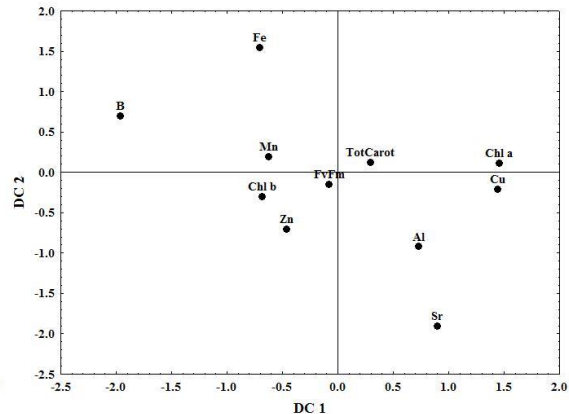
1b



2a

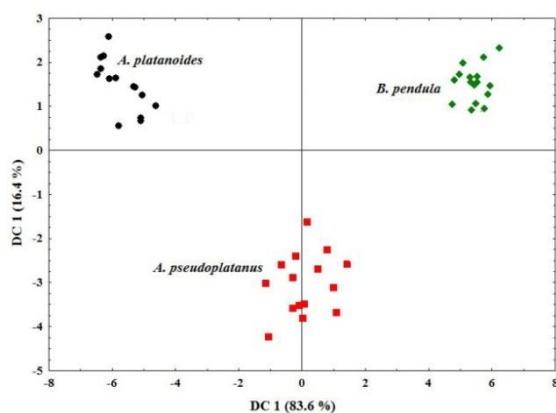


2b

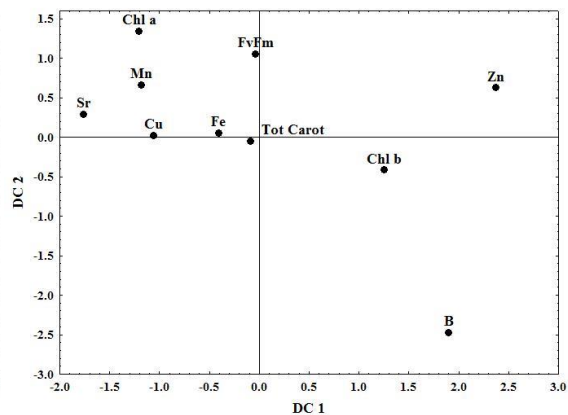


nastavak slika 14.

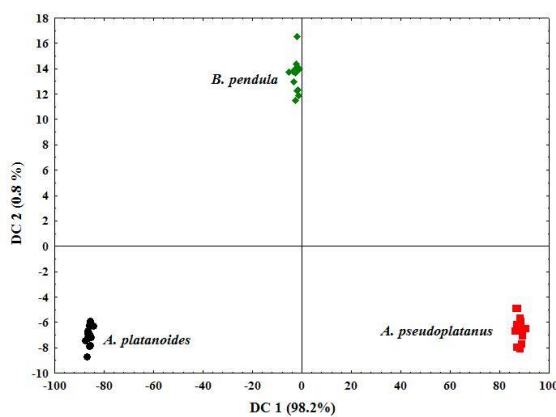
3a



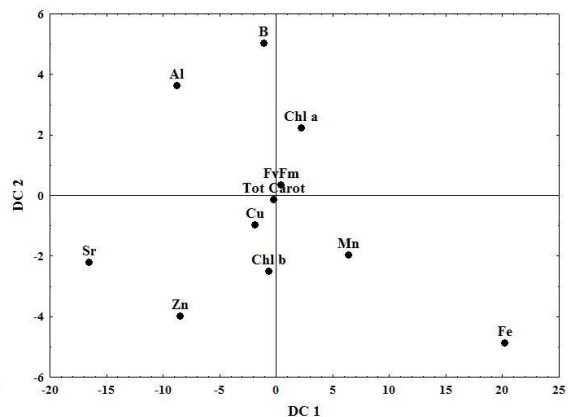
3b



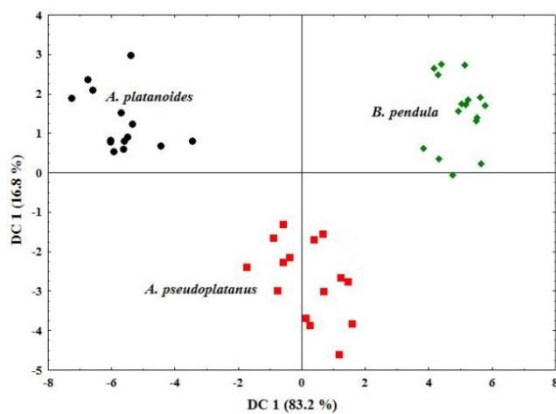
4a



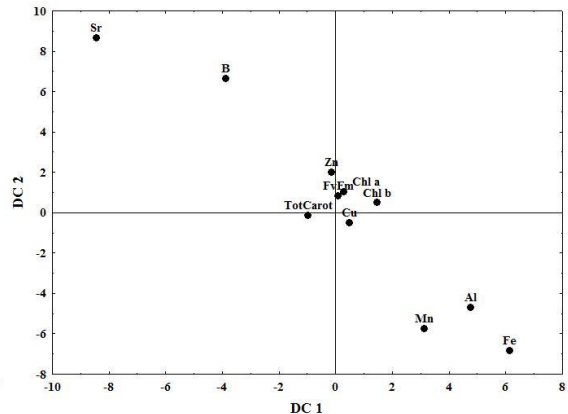
4b



5a

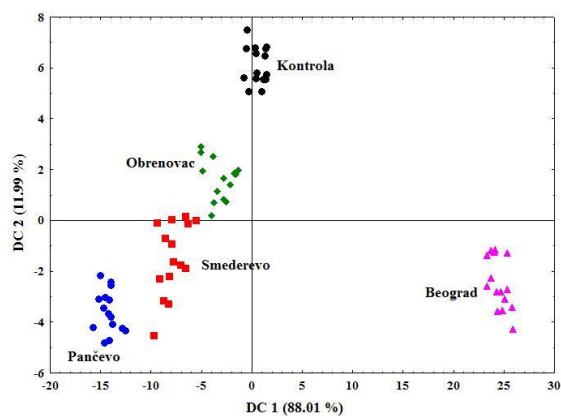


5b

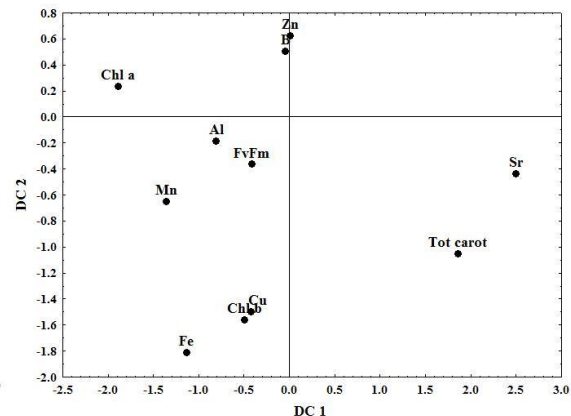


Slika 14. Razlike između vrsta u Pančevu (1a, 1b); Smederevu (2a, 2b), Obrenovcu (3a, 3b), Beogradu (1a, 2b) i kontrolnom lokalitetu (1a, 1b) na osnovu sadržaja potencijalno toksičnih elemenata, Fv/Fm, Chl a, Chl b i Tot Carot u listovima ispitivanih biljaka; DC - diskriminantna funkcija.

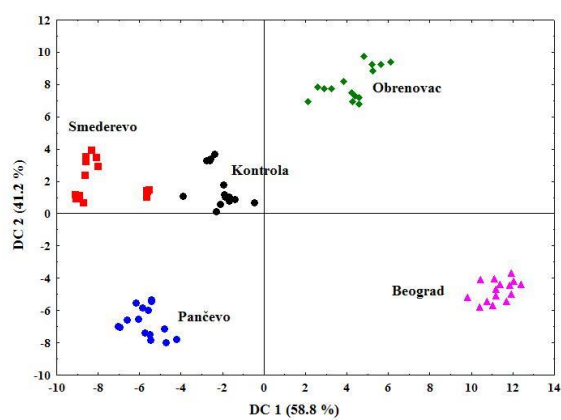
1a



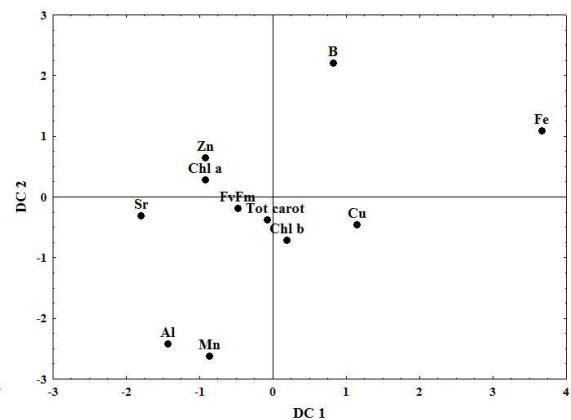
1b



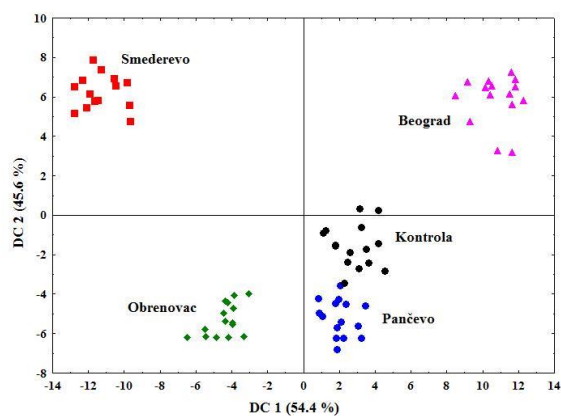
2a



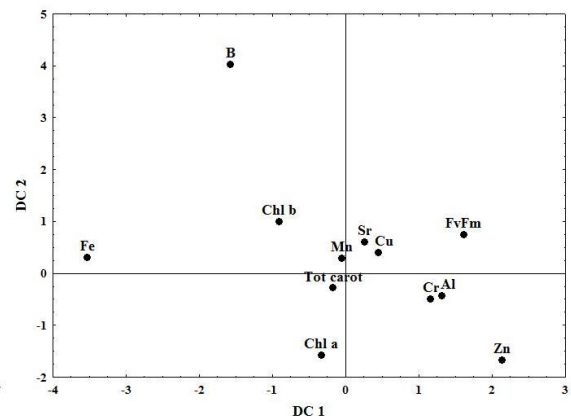
2b



3a



3b



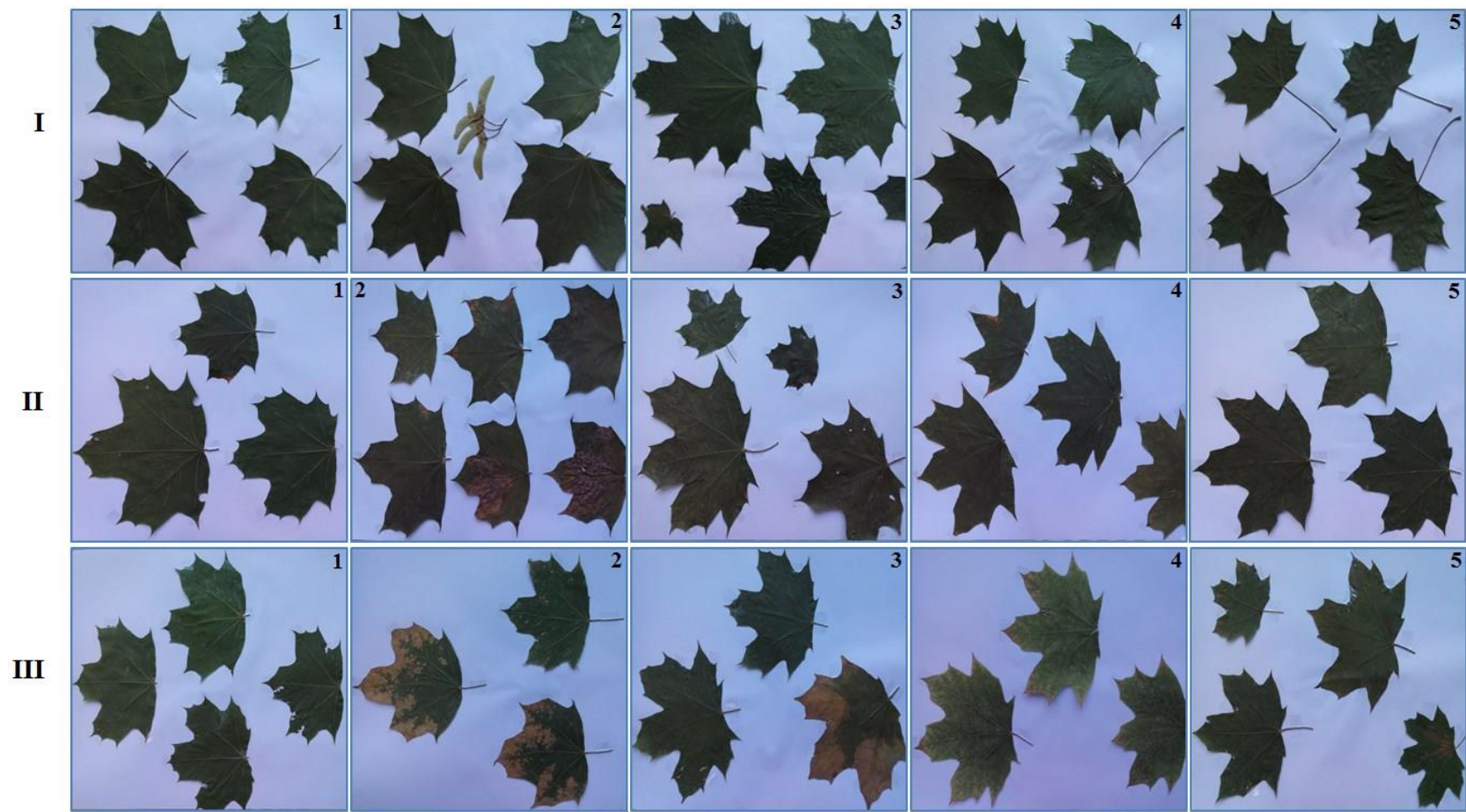
Slika 15. Razlike između ispitivanih lokaliteta na osnovu sadržaja potencijalno toksičnih elemenata, Fv/Fm, Chl a, Chl b i Tot Carot u listovima mleča (1a, 1b); javora (2a, 2b) i breze (3a, 3b); DC - diskriminantna funkcija.

5.3.2. Morfološki simptomi oštećenja listova ispitivanih biljaka

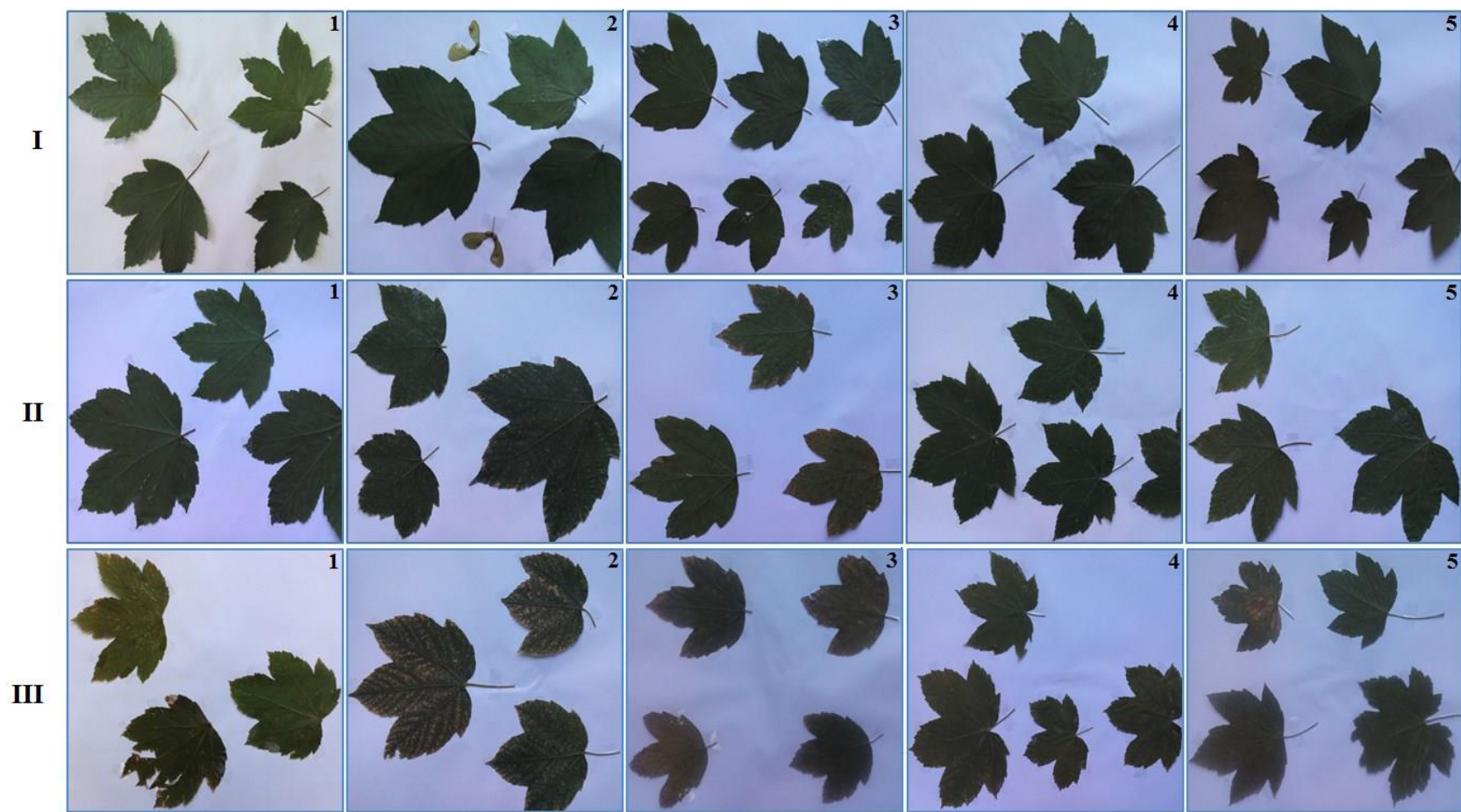
Listovi mleča sa svih ispitivanih lokaliteta tokom juna su bili bez vidljivih morfoloških promena, jedino su na uzorcima iz Pančeva i Beograda prisutna mehanička oštećenja. U avgustu, listovi mleča su bez značajnijih morfoloških promena i oštećenja. Povremeno se uočavaju depigmentisani delovi lista kao i vršne nekroze različitog inteziteta. Najizraženije promene su uočene na listovima mleča iz Smedereva, gde je veći deo lista nekrotičan i suv. U oktobru, izražena su mehanička oštećenja, hloroze i nekroze. Na pojedinim listovima su zapažene svetlo zelene hloroze, sa vršnim nekrozama smeđe boje koje su najizraženije u Smederevu i Obrenovcu (Slika 16).

Kod javora, u junu nisu primećene morfološke promene na listovima. Na uzorcima iz Pančeva i Obrenovca bile su prisutne tačkaste hloroze kao i oštećenja, verovatno izazvana patogenima. Na uzorcima iz Obrenovca na centralnim delovima listova uočena su oštećenja u vidu hloroza i nekroza. Na listovima javora značajnije promene konstantovane su već u avgustu u vidu izraženih hloroza svetlo zelene boje. Uzorke iz Smedereva i Obrenovca dodatno karakterišu marginalne nekroze smeđe boje. U oktobru se zapažaju hloroze koje zahvataju veći deo površine lista. U Pančevu značajan deo lista je oštećen i suv. Može se reći da su listovi javora iz Smedereva i Obrenovca, pa čak i sa kontrolnog lokaliteta pretrpeli najveće morfološke promene (Slika 17).

Listovi breze u junu su bili bez vidljivih morfoloških promena, jedino su na listovima iz Obrenovca uočena oštećenja u vidu nekroza smeđe boje, što je dovelo do gubitka većeg dela lista. U avgustu su primećena oštećenja u vidu hloroza svetlo zelene boje koja su zahvatala značajnu površinu lista, kao i marginalne nekroze i suvi vrhovi. U oktobru listovi breze iz Pančeva su bili vitalni, dok su listove iz Beograda karakterisale nekroze koje dovode do sušenja i gubitka marginalnog dela lista. Na listovima sa ostalih lokaliteta bile su prisutne nekroze smeđe boje koje su zahvatale obod lista (Slika 18).



Slika 16. Morfološke promene na listovima mleča tokom sezone (I-jun, II-avgust, III-oktobar) u: 1. Pančevu, 2. Smederevu, 3. Obrenovcu, 4. Beogradu i 5. kontrolnom lokalitetu.



Slika 17. Morfološke promene na listovima javora tokom sezone (I-jun, II-avgust, III-oktobar) u: 1. Pančevu, 2. Smederevu, 3. Obrenovcu, 4. Beogradu i 5. kontrolnom lokalitetu.



Slika 18. Morfološke promene na listovima breze tokom sezone (I-jun, II-avgust, III-oktobar) u: 1. Pančevu, 2. Smederevu, 3. Obrenovcu, 4. Beogradu i 5. kontrolnom lokalitetu.

5.3.3. Stanje struktura periferijskih zaštita listova ispitivanih biljaka i karakteristike čestica deponovanih na njihovoj površini

Korišćenjem skenirane elektronske mikroskopije (SEM), analizirano je stanje struktura periferijskih zaštita na licu i naličju listova ispitivanih vrsta, sakupljenim tokom juna i oktobra na lokalitetima u Pančevu, Smederevu, Obrenovcu, Beogradu i kontrolnom lokalitetu. SEM analiza je korišćena i za analizu veličine, oblika i hemijskog sastava atmosferskih čestica deponovanih na površinu listova.

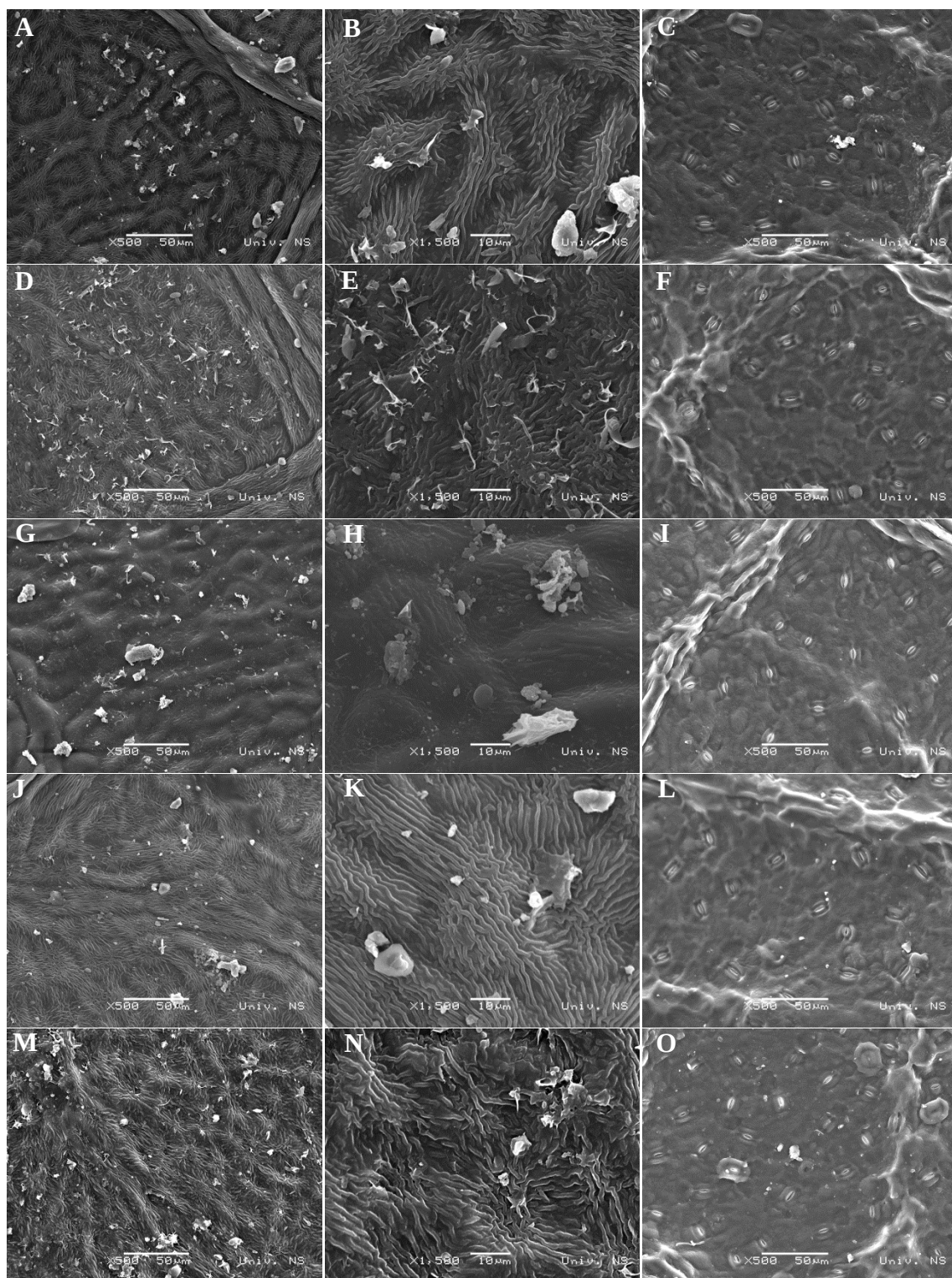
Analiza stanja struktura periferijskih zaštita je pokazala da listove mleča karakterišu vidljiva oštećenja kutikule i depozicija čestica različite veličine ($< 10\mu\text{m}$) i oblika čije je nakupljanje bilo u zoni lisnih nerava (Slika 19). Veća količina čestica bila je deponovana na licu lista. Na mikrofotografijama naličja listova izražen je veći broj deponovanih čestica u oktobru u poređenju sa uzorcima iz juna (Slika 20). U uzorcima sakupljenim u oktobru primećeno je prisustvo krupnijih agregata ($> 10\mu\text{m}$) koji u nekim slučajevima mehanički prekrivaju otvore stoma što se može odraziti na njihovu strukturu i funkciju. Najkrupniji agregati uočeni su na listovima iz Obrenovca ($> 20\mu\text{m}$) i Beograda (Slika 20 H, K). Najveći broj čestica i oštećenja stoma konstantovana su na uzorcima listova iz Smedereva (Slika 20 F).

Kod javora, uočena je nešto drugačija distribucija čestica u odnosu na mleč, koje su deponovane po celoj površini lista i u manjem broju u odnosu na mleč, izuzev u Beogradu (Slika 21). U oktobru, očekivana je veća količina čestica koje formiraju agregate različitog oblika i veličine (Slika 22). I u ovom slučaju, najkrupniji agregati su prisutni na listovima javora iz Obrenovca u oktobru (Slika 22 H), iako ih je bilo moguće uočiti i na drugim lokalitetima (Slika 22). Za listove javora je karakteristično da su stome locirane na naličju i okružene papiloznim ćelijama koje štite stome od mehaničkih oštećenja. Vidljiva oštećenja papiloznih ćelija su izražena u uzorcima iz parka u Pančevu.

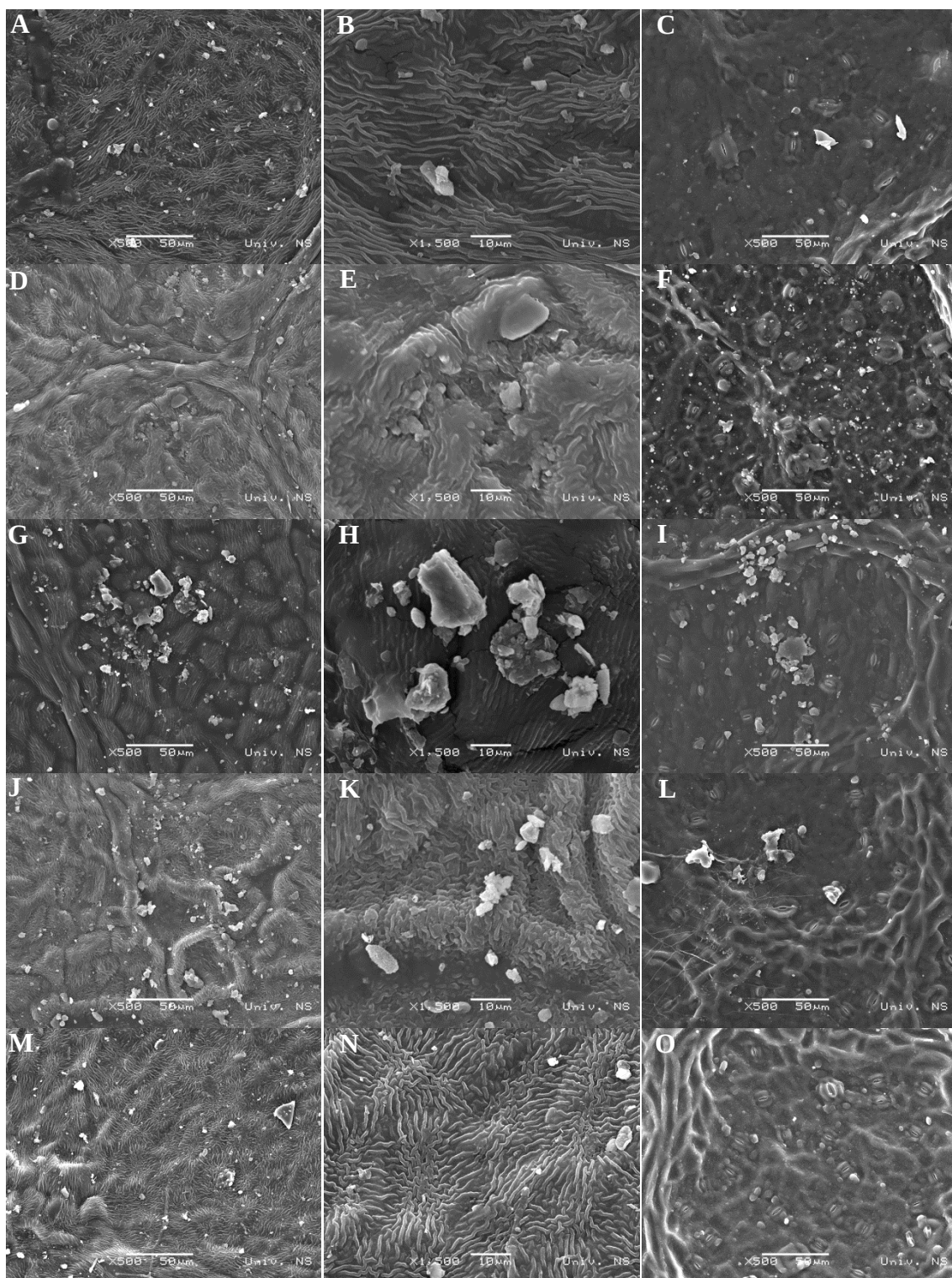
Na listovima breze zapažen je veliki broj sitnih atmosferskih čestica, pojedinačnih ili u formi agregata veličine veće od $20\mu\text{m}$ ($> 20\mu\text{m}$). Kao i kod prethodne dve vrste, na listovima breze iz Obrenovca su zapaženi najveći agregati, ali i strukture biogenog i abiogenog porekla kao što su hife gljiva, polenova zrna i dr. (Slika

23 G, H). Veća depozicija je u ovom slučaju prisutna uz nervaturu lista. Kao i kod druge dve vrste depozicija atmosferskih čestica je izraženija u uzorcima iz oktobra (Slika 24).

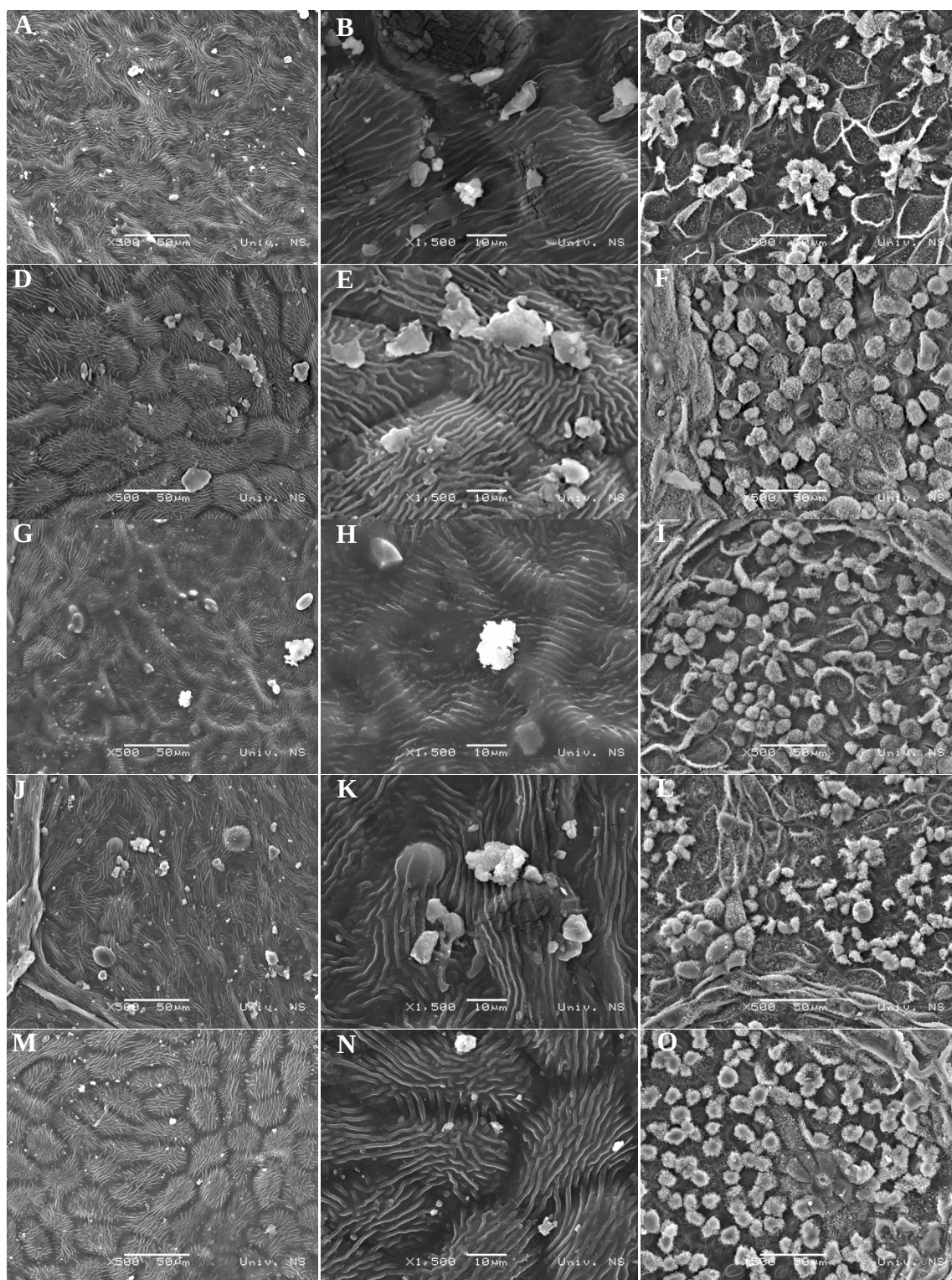
Tačkasta analiza pojedinačnih čestica deponovanih na površini listova je analizirana metodom spektralne analize SEM-EDS (Slike 25-27). Pre analize uzorci su naparavani zlatom kako bi se osigurala provodljivost uzoraka i omogućila analiza morfologije i karakterizacija uzoraka. Međutim, ovakav način pripreme uzoraka utiče na emisione spektre elemenata u tragovima, odnosno Au kao težak metal prekriva sve elemente u tragovima i apsorbira njihove emisione spektre. Ova metoda je manje precizna od laboratorijske analize u pogledu hemijskog sastava elemenata u česticama deponovanim na površine listova, ali ukazuje na kvalitativnu zastupljenost elemenata u tragovima i na njihovo dominantno poreklo. Važno je istaći da je neobeležena linija u spektru na 2.16 keV AuM α linija koja vodi poreklo od površinskog sloja koji je naparen na uzorak radi postizanja boljeg kontrasta prilikom generisanja slike elektronskim mikroskopom. Koncentracije hemijskih elemenata u česticama koje su deponovane na površini listova ispitivanih biljaka prikazana je u Tabeli 62. Rezultati EDS analize su pokazali da su čestice pretežno sastavljene od C, O, Si i Al, dok su ostali elementi kao što su Ca, K, Fe, Mg prisutni u manjim količinama.



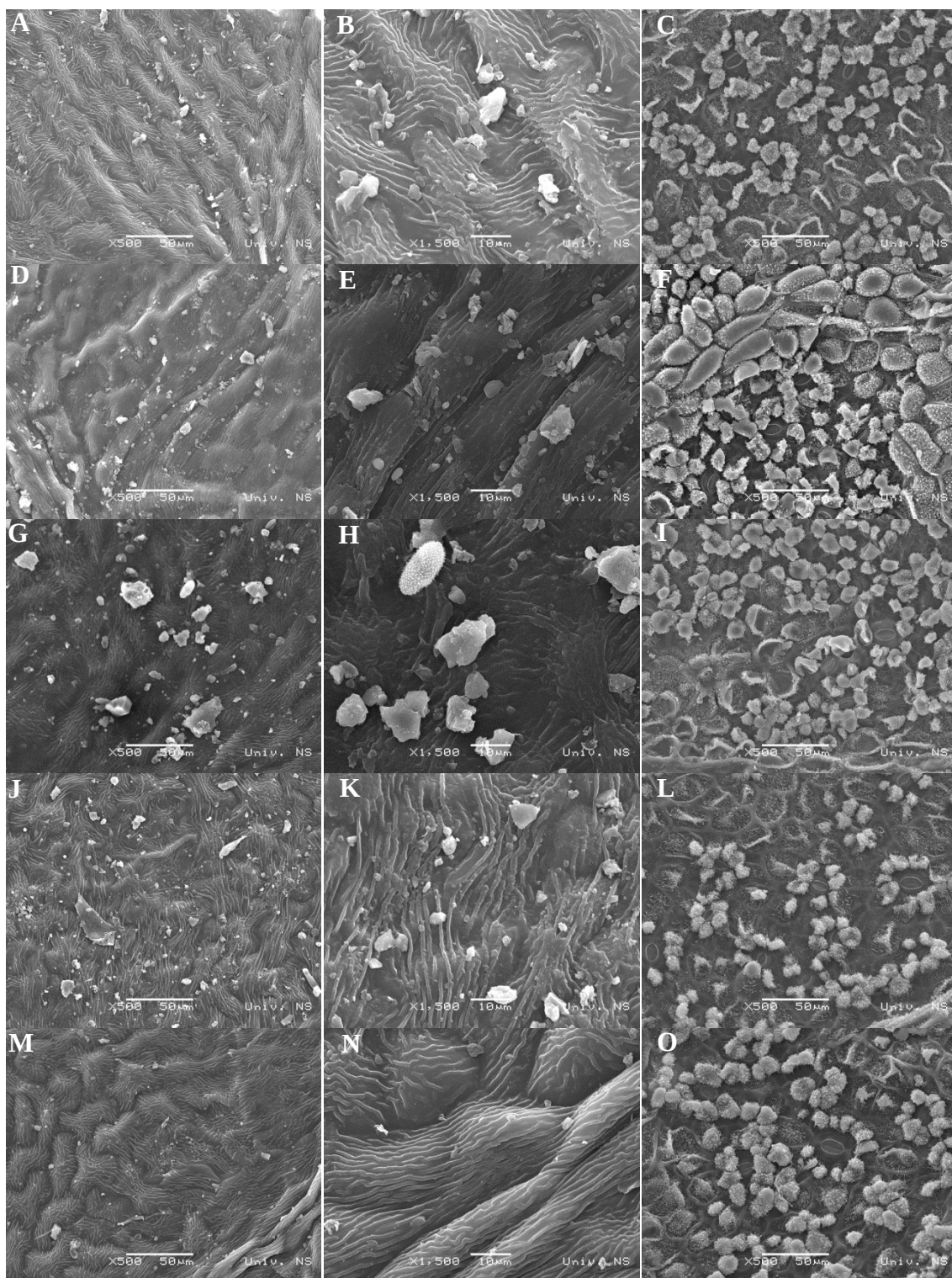
Slika 19. SEM mikrofija lica (LL) i naličja (NL) lista mleča u junu: Pančevo A (LLx500), B (LLx1500), C (NLx500), Smederevo D (LLx500), E (LLx1500), F (NLx500), Obrenovac G (LLx500), H (LLx1500), I (NLx500), Beograd J (LLx500), K (LLx1500), L (NLx500), kontrolni lokalitet M (LLx500), N (LLx1500), O (NLx500).



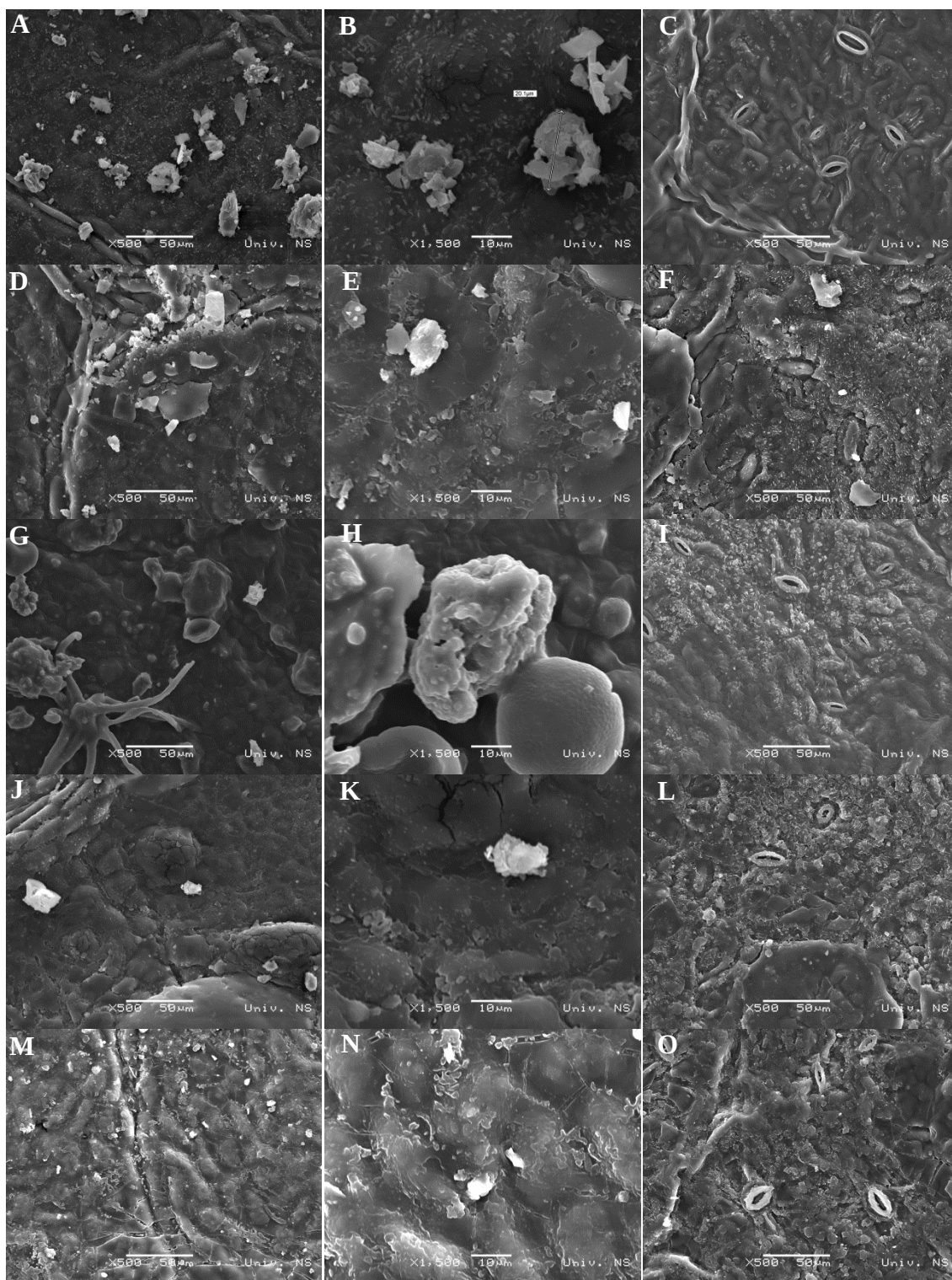
Slika 20. SEM mikrografija lica (LL) i naličja (NL) lista mleča u oktobru: Pančevo A (LLx500), B (LLx1500), C (NLx500), Smederevo D (LLx500), E (LLx1500), F (NLx500), Obrenovac G (LLx500), H (LLx1500), I (NLx500), Beograd J (LLx500), K (LLx1500), L (NLx500), kontrolni lokalitet M (LLx500), N (LLx1500), O (NLx500).



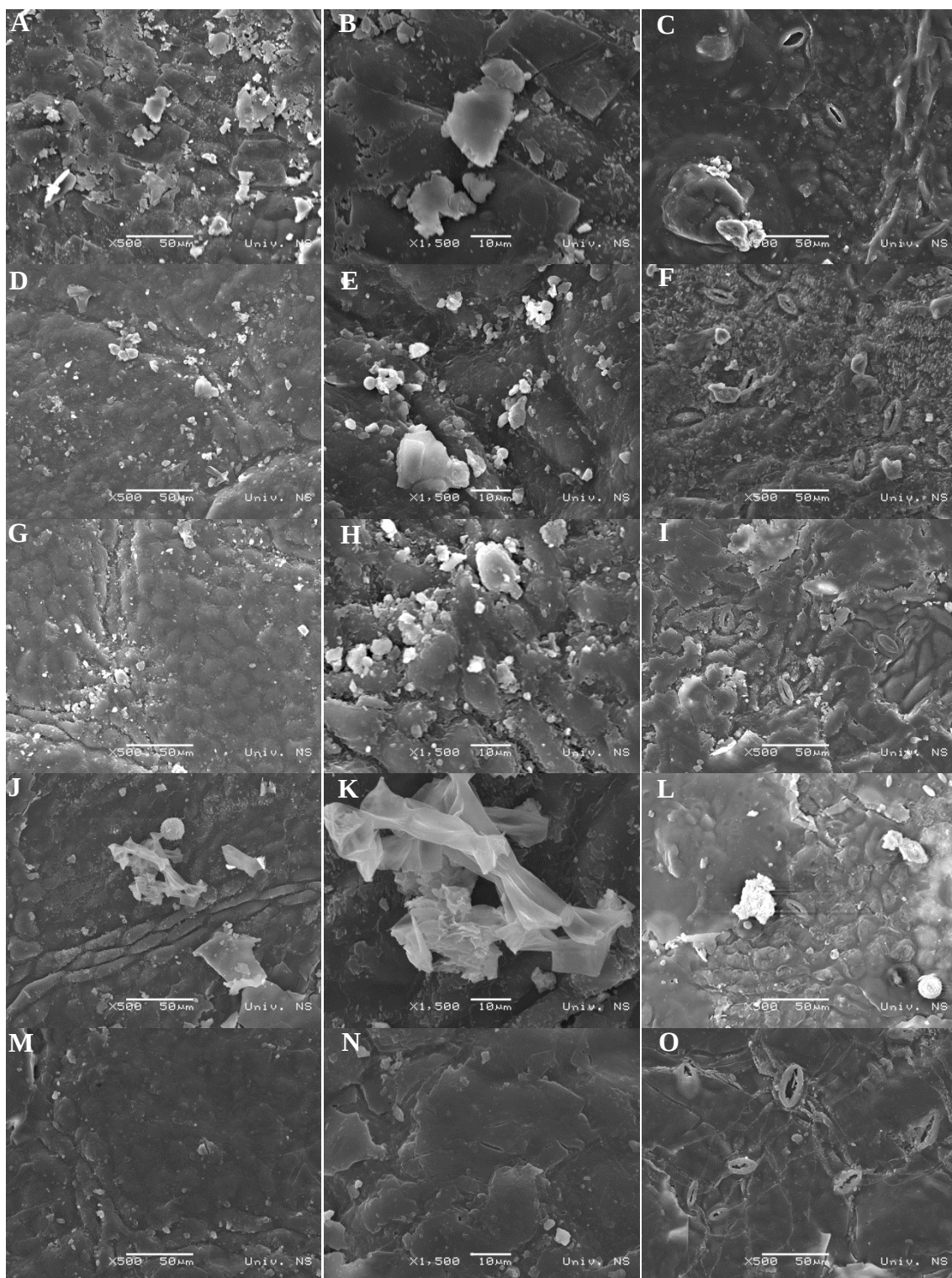
Slika 21. SEM mikrografija lica (LL) i naličja (NL) lista javora u junu: Pančevo A (LLx500), B (LLx1500), C (NLx500), Smederevo D (LLx500), E (LLx1500), F (NLx500), Obrenovac G (LLx500), H (LLx1500), I (NLx500), Beograd J (LLx500), K (LLx1500), L (NLx500), kontrolni lokalitet M (LLx500), N (LLx1500), O (NLx500).



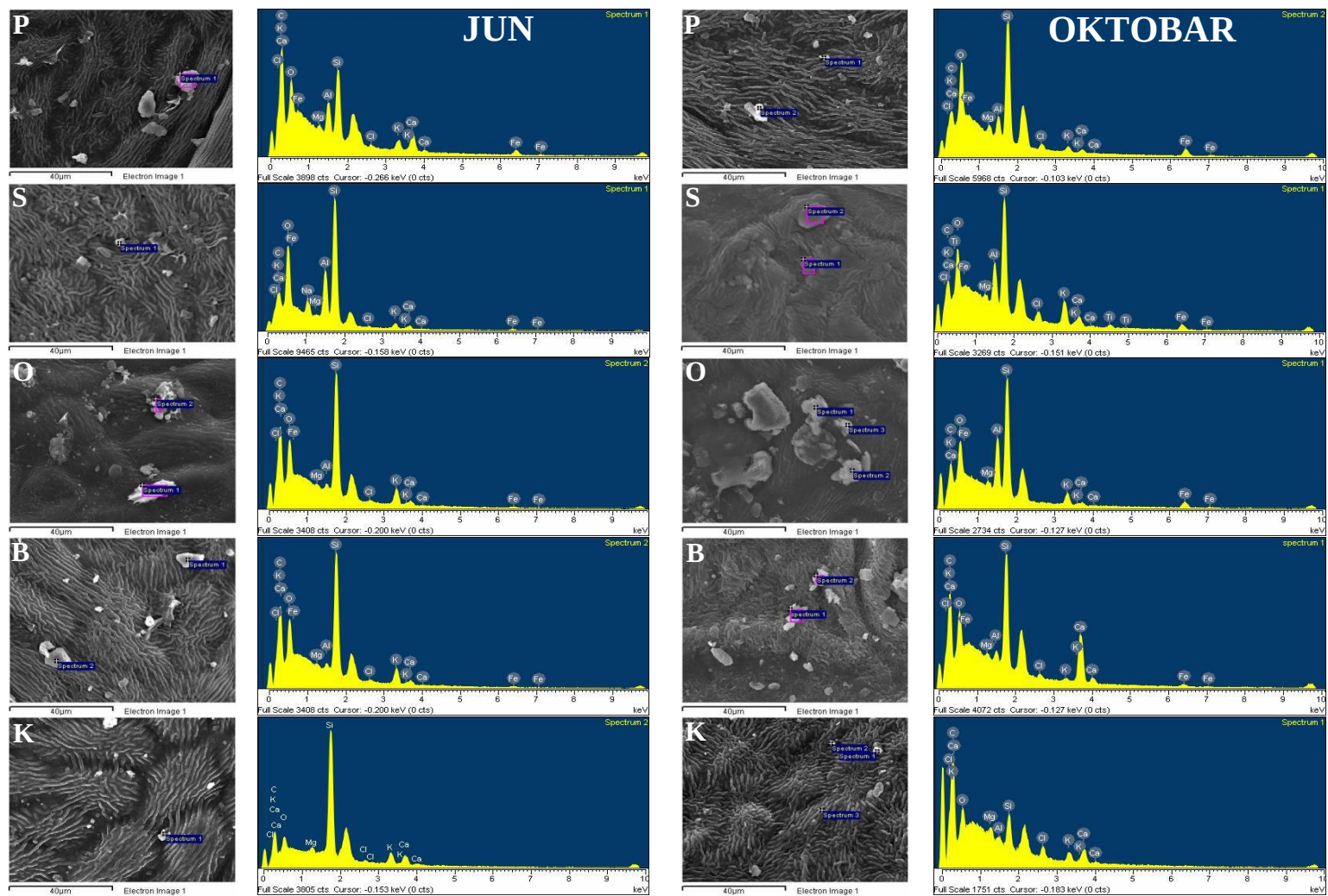
Slika 22. SEM mikrografija lica (LL) i naličja (NL) lista javora u oktobru: Pančevo A (LLx500), B (LLx1500), C (NLx500), Smederevo D (LLx500), E (LLx1500), F (NLx500), Obrenovac G (LLx500), H (LLx1500), I (NLx500), Beograd J (LLx500), K (LLx1500), L (NLx500), kontrolni lokalitet M (LLx500), N (LLx1500), O (NLx500).



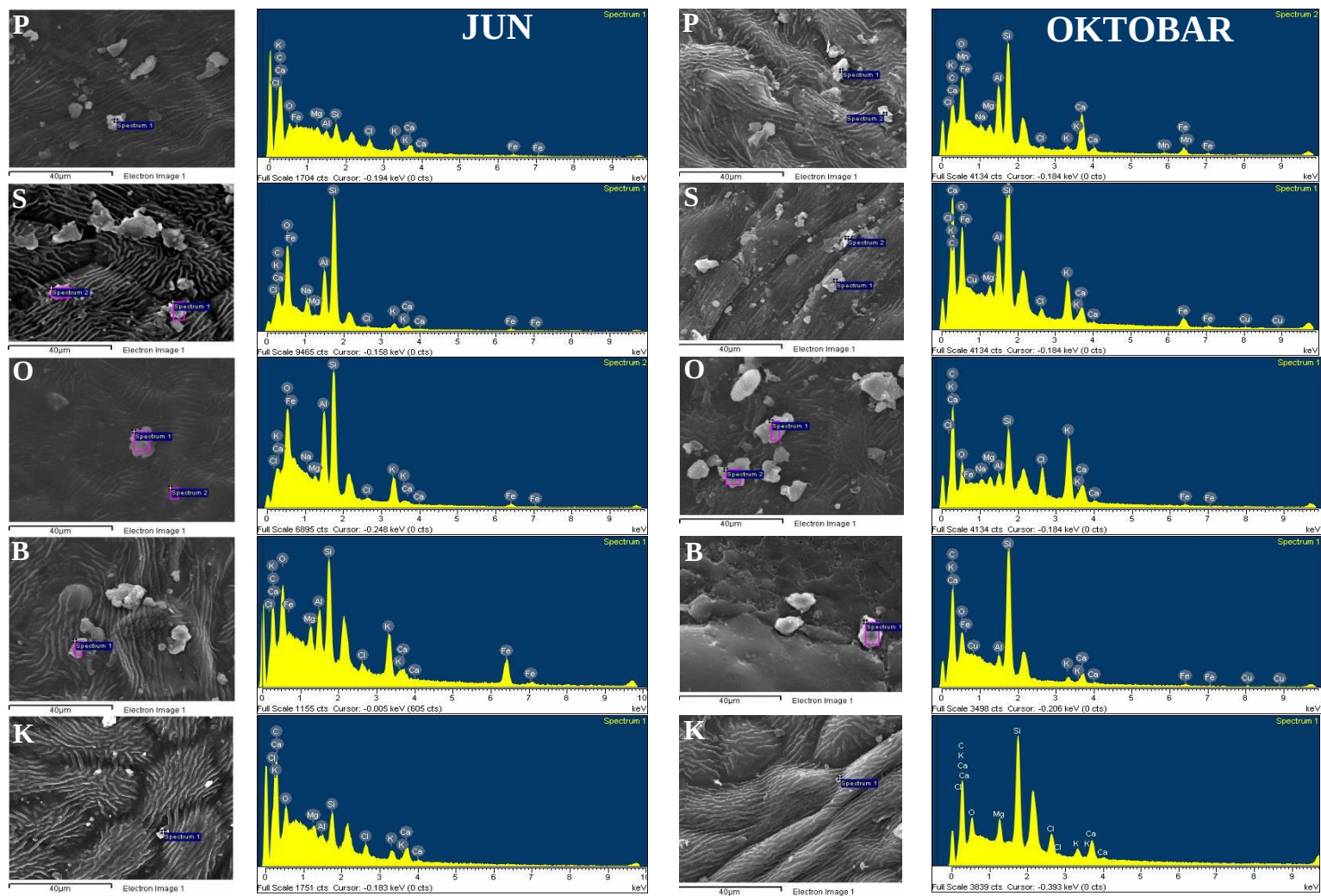
Slika 23. SEM mikrografija lica (LL) i naličja (NL) lista breze u junu: Pančevo A (LLx500), B (LLx1500), C (NLx500), Smederevo D (LLx500), E (LLx1500), F (NLx500), Obrenovac G (LLx500), H (LLx1500), I (NLx500), Beograd J (LLx500), K (LLx1500), L (NLx500), kontrolni lokalitet M (LLx500), N (LLx1500), O (NLx500).



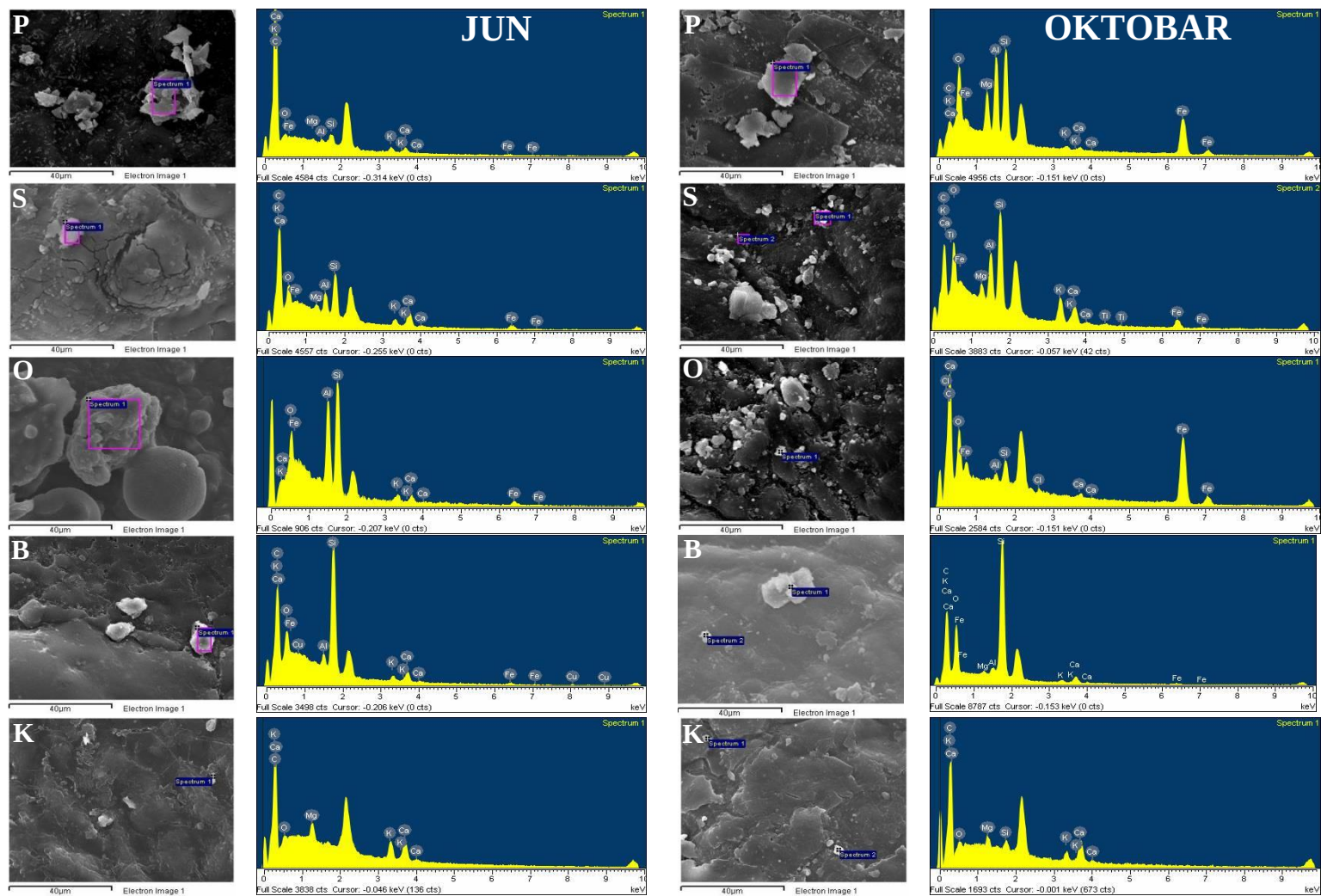
Slika 24. SEM mikrografija lica (LL) i naličja (NL) lista breze u oktobru: Pančevo A (LLx500), B (LLx1500), C (NLx500), Smederevo D (LLx500), E (LLx1500), F (NLx500), Obrenovac G (LLx500), H (LLx1500), I (NLx500), Beograd J (LLx500), K (LLx1500), L (NLx500), kontrolni lokalitet M (LLx500), N (LLx1500), O (NLx500).



Slika 25. Spektralna analiza (SEM-EDS) hemijskog sastava čestica na listovima mleča u junu i oktobru: Pančevo (P), Smederevo (S), Obrenovac (O), Beograd (B) i kontrolnom lokalitetu (K).



Slika 26. Spektralna analiza (SEM-EDS) hemijskog sastava čestica na listovima javora u junu i oktobru: Pančevo (P), Smederevo (S), Obrenovac (O), Beograd (B) i kontrolnom lokalitetu (K).



Slika 27. Spektralna analiza (SEM-EDS) hemijskog sastava čestica na listovima breze u junu i oktobru: Pančevo (P), Smederevo (S), Obrenovac (O), Beograd (B) i kontrolnom lokalitetu (K).

Tabela 62. Koncentracija hemijskih elemenata čestica deponovanih na površini listova ispitivanih vrsta u Pančevu (P), Smederevu (S), Obrenovcu (O), Beogradu (B) i na Kontrolnom lokalitetu (K)

Elementi %																								
JUN												OKTOBAR												
Vrsta	Lok.	Al	C	Ca	Cl	Cu	Fe	K	Mg	Na	O	Si	Al	C	Ca	Cl	Cu	Fe	K	Mg	Na	O	Si	Ukupno
<i>Acer platanoides</i>	P	2,02	59,79	1,68	0,29		1,25	0,90	0,42		29,38	4,27		50,54	2,55	2,58		3,24	0,86		33,45	6,79		100
	S	4,15	34,34	0,40	0,14		0,45	0,68	0,22	2,90	45,69	11,04	7,83	32,87	0,88	0,73		2,13	5,16	0,72		35,76	13,92	100
	O	9,42		0,81				10,21			45,76		5,30	40,71	0,47			2,36	1,67	0,79		36,52	12,18	100
	B	2,04	66,58	1,10	1,57		1,79	2,93	0,65		14,64	8,69	0,67	53,31	4,88	0,37		0,61	0,26	0,41		32,63	6,86	100
	K	2,04	56,39	1,98	0,44			2,04	0,89		22,94	15,32		70,23	2,20	1,48			1,62	1,53		20,85	2,10	100
<i>Acer pseudoplatanus</i>	P	4,07	37,16	3,28	0,21		1,22	0,31	1,00	0,97	44,34	7,49	2,00	33,54	0,55			2,72	0,77	1,16		46,32	12,13	100
	S	1,76	54,88	0,58	0,32	0,12	0,79	1,51	0,52		34,77	4,74	7,28		2,45	2,85		3,44	6,13	1,41		54,84	20,39	100
	O	1,00	58,32	1,65	2,37		0,21	5,56	0,98	0,78	24,84	4,30	7,19	35,38	0,68			3,55	2,40	1,03		32,06	17,71	100
	B	0,79	63,43	1,04			0,52	0,48			25,05	8,36	0,67	53,31	4,88	0,37		0,61	0,26	0,41		62,63	6,86	100
	K		65,81	1,26	1,31				1,70		23,83	5,52	0,44	64,90	1,79	1,20			1,13	0,92		27,09	2,53	100
<i>Betula pendula</i>	P	0,30	88,69	0,66			0,39	0,63	0,22		8,26	0,85	7,89	26,77	0,39			12,98	0,38	4,80		37,49	9,30	100
	S	1,59	65,99	1,77			1,23	0,73	0,64		24,81	3,24	2,81	55,00	1,48			1,96	1,98	1,06		30,09	5,41	100
	O	9,42		0,81				10,21			45,76	33,81	30,09	56,17	0,28	0,33		14,09				27,37	1,28	100
	B	0,79	63,43	1,04		0,33	0,52	0,48			25,05	8,36	1,94	40,38	15,20			0,94	0,84	2,13		35,21	3,35	100
	K		77,32	3,22				2,77	2,04		14,65			78,00	3,53				1,39	1,33		14,76		100

VI DISKUSIJA

U ovoj disertaciji, utvrđene su neke fizičko-hemijske karakteristike zemljišta, utvrđena je koncentracija odabranih hemijskih elemenata (Al, As, B, Cd, Cr, Cu, Li, Fe, Mn, Ni, Pb, Se, Sr, Zn) u zemljištu i ispitana je njihova potencijalna dostupnost, mobilnost i toksičnost. Koncentracija ovih elemenata je izmerena u listovima i kori odabranih biljnih vrsta (*Acer platanoides* L., *Acer pseudoplatanus* L. i *Betula pendula* Roth.). Ispitan je uticaj koji potencijalno toksični elementi imaju na ispitivane vrste merenjem efikasnosti fotosinteze i koncentracije fotosintetskih pigmenata, detektovani su i opisani morfološki simptomi oštećenja listova i analizirano stanje struktura periferijskih zaštita listova uključujući i hemijsku analizu atmosferskih čestica deponovanih na površine listova.

Potrebno je naglasiti da će se kroz diskusiju izraz „metali“ koristiti u najširem smislu te reči, odnosno njime će biti obuhvaćeni i nemetali B i As. Takođe, elementi poput As, Cd i Se nisu diskutovani s obzirom da je njihov sadržaj u zemljištu, listovima i kori ispitivanih vrsta biljaka bio ispod nivoa detekcije aparata.

6.1. Fizičko – hemijske karakteristike zemljišta i njihov uticaj na funkcionisanje ispitivanih biljaka na urbanim staništima

6.1.1. Fizičke osobine zemljišta

Fizičke osobine zemljišta opisane su u poglavlju 5.1.1.

U neke od najvažnijih fizičkih osobina zemljišta svrstavaju se mehanički sastav (tekstura) zemljišta i sadržaj vode u zemljištu (Antić et al. 1982). Mehanički sastav utiče na koncentraciju metala u različitim fazama zemljišta, a samim tim i na njihovu mobilnost i potencijalnu dostupnost, dok voda utiče na mnoge fizičke i hemijske procese u zemljištu i u isto vreme je rastvarač i transporter hranjivih materija. Posmatrajući teksturu ispitivanih zemljišta uočljivo je da dominira frakcija peska, a zatim i frakcija praha i gline, ali njihov odnos varira u zavisnosti od uzorka (Tabela 4). Na osnovu sadržaja ovih frakcija ispitivana zemljišta u Pančevu, Smederevu, Beogradu

i na kontrolnom lokalitetu u Arboretumu klasifikovana su kao peskovito-glinovita ilovača, dok ona iz Obrenovca i kontrolnog staništa u Topčideru kao glinovita ilovača (Slika 6). Ovi rezultati potvrđuju ranije nalaze vezane za područje severoistočnog dela Beograda koje karakteriše prisustvo različitih klasa zemljišta (pesak, ilovasti pesak, peskovita ilovača, ilovača i glinovita ilovača (Jovanović 1985). Analiza teksturne pripadnosti zemljišta u okolini železare u Smederevu pokazala je da zemljišta pripadaju klasi praškasto glinovite ilovače i praškaste ilovače, a samo manji deo je klasifikovan kao ilovača ili peskovita ilovača (Dragović et al. 2014). Kostić (2014), je utvrdila da zemljišta u okolini Obrenovca pripadaju klasi praškasto-glinovite ilovače. Zemljišta sa većim udelom sitnijih granulometrijskih frakcija jače vezuju toksične elemente i esencijalne elemente u odnosu na zemljišta sa većim udelom krupnijih čestica, zbog toga što ona sadrže čestice sa većom reaktivnom površinom, kao što su minerali gline, oksidi/hidroksidi Fe i Mn, huminske kiseline i dr. (Bradl 2004). Peskovita zemljišta su propustljiva za vodu, dobro su aerisana i siromašna u pogledu sadržaja hranjivih materija (Antić 1982).

6.1.2. Hemijske osobine zemljišta

Hemijske osobine zemljišta opisane su u poglavlju 5.1.2.

Kiselost zemljišta (pH) ima važnu ulogu u kontroli mobilnosti metala u zemljištu i njihovu dostupnost biljkama i opšte je prihvaćena činjenica da se rastvorljivost, pokretljivost i biodostupnost metala biljkama povećava na nižim pH (Gržetić 1996; Shahid et al. 2017), odnosno da u alkalnim uslovima metali bivaju imobilisani u zemljištu čime se njihova dostupnost biljkama smanjuje (Bielicka-Gieldoń et al. 2013; Shahid et al. 2017). Negativna korelacija između pH i mobilnosti metala u zemljištu i njihova dostupnost biljkama dobro je opisana u literaturi. Zeng et al. (2011) je uočio da sadržaj izmenjivih Cu, Cr, Mn, Fe i Zn smanjuje sa povećanjem pH, predpostavljajući da pH kontroliše negativno naelektrisanje na čvrstoj fazi zemljišta. Niska pH znači veliku količinu slobodnih H^+ jona u zemljišnom rastvoru koji teže da se vežu za negativno naelektrisane čestice zemljišta, sprečavajući tako vezivanje metalnih katjona, čime oni postaju slobodni i dostupni za usvajanje (Caporale & Violante 2016; Shahid et al. 2017). Prema tome, visoka alkalnost predstavlja negativnu osobinu supstrata i često

uzrokuje deficit esencijalnih mikronutrijenata (Li et al. 2013). Sa druge strane, alkalni uslovi mogu povoljno uticati na mobilnost nekih toksičnih elemenata u anjonskom obliku kao što su borat, arsenat, arsenit i selenit (Caporale & Violante 2016). pH vrednosti ispitivanih zemljišta pokazuje alkalnu reakciju (8,30 - 8,61), koja neznatno varira između ispitivanih lokaliteta i ima podjednak efekat na biorapoloživost toksičnih elemenata (Tabela 5). Ovakva reakcija zemljišta nije neuobičajena za urbana područja i može se dovesti u vezu sa prisustvom alkalizujućih proizvoda poput kalcijum karbonata i kalcijum-magnezijum karbonata u šljunku, cementu, betonu i dr. (Li et al. 2013; Gu et al. 2016), kao i usled deponovanja alkalne prašine antropogenog porekla koja nastaje tokom sagorevanja uglja u termoelektranama i drugim industrijskim postrojenjima (Li et al. 2013). Do sličnih rezultata došli su i drugi autori koji su se bavili analizom urbanih zemljišta (Crnković et al. 2006; Li et al. 2013; Al Obaidy & Al Mashhadi 2013; Andrejić et al. 2016). Imajući u vidu činjenicu da je pH vrednost zemljišnog rastvora dinamičan parametar i da zavisi od količine i tipa jona koji su prisutni u rastvoru, ali i od količine jona koji su adsorbovani na čvrstu fazu koji pod određenim uslovima mogu biti istisnuti, veoma je važno odrediti potencijalnu supstitucionu kiselost (pH u KCl). Vrednost pH_{KCl} je obično nešto niža nego pH_{H_2O} i u ovom istraživanju se kretala u uskom opsegu neutralnih vrednosti (6,84 - 7,00), Tabela 5. Vrednosti supstitucione kiselosti ispitivanih zemljišta zavise od sastava matičnog supstrata, klime, reljefa, vegetacije, kao inteziteta antropogenih aktivnosti (Mrvić et al. 2009). Rezultati ovih istraživanja ukazuju da je reakcija ispitivanih zemljišta u KCl slična rezultatima dobijenim za preko 15000 uzoraka zemljišta na teritoriji Srbije (Agencija za zaštitu životne sredine 2013), kao i za uzorke zemljišta sa urbanih staništa u Beogradu (Andrejić et al. 2016), Novom Sadu (Mihailović et al. 2015) i nekoliko gradova u Poljskoj (Bielińska et al. 2013). Pored pH, u ispitivanim zemljištima određeni su ukupan i organski ugljenik, azot kao i odnos ugljenika i azota (Tabela 5). Ugljenik i azot spadaju u grupu makroelemenata koji su apsolutno neophodni za rast i razvitak biljaka, uključeni su u brojne biogeohemijske procese sa direktnim uticajem na interakciju između zemljišta i biljke, i pored toga igraju ključnu ulogu u procesima pedogeneze i doprinose plodnosti zemljišta (Saint-Laurent et al. 2014). Poreklo organskog ugljenika (OC) u zemljištu je dvojako, potiče iz razložene organske materije, ali u zemljište može dospeti i različitim antropogenim aktivnostima (Bielińska et al. 2013). Sadržaj organske

materije u urbanim zemljištima može da bude promenjen usled planskog formiranja i uređivanja parkova, gde se često površinski slojevi zemljišta, pokošena trava i opalo lišće uklanjaju (Li et al. 2013). Važnu ulogu u formiranju nivoa OC u urbanim zemljištima igra organska materija antropogenog porekla, odnosno crni ugljenik, koji predstavlja ostatak od nesagorele biomase i goriva koja sadrže čađ i ugalj (Koelmans et al. 2006). Dvojako poreklo OC je potvrđeno i u našem radu. Najveća količina OC je utvrđena u zemljištu sa kontrolnog lokaliteta u Arboretumu, koji se nalazi u zoni nekadašnje autohtone šume hrasta sladuna i cera (*Quercetum frainetto-cerris* Rudski 1949) i predstavlja prirodnu sredinu u kojoj se odbačeni listovi biljaka ne uklanjaju već se prepuštaju prirodnom procesu razlaganja. Drugi lokalitet koji se izdvaja po sadržaju OC je park kod Hale Pionir koji se nalazi u blizini veoma prometnih saobraćajnica u jednom od najzagađenijih delova Beograda. Azot u zemljištu potiče od mineralizacije organske materije i njegova količina direktno zavisi od unosa organske materije, zbog čega zemljišta sa većim procentom organske materije imaju i viši sadržaj azotnih jedinjenja (Saint-Laurent et al. 2014). Ovo je direktno potvrđeno i rezultatima ovih istraživanja, odnosno tamo gde je utvrđena najveća količina OC, konstatovana je i najveća količina azota (N). Za razumevanje ponašanja i dinamike azota u zemljištu od velikog je značaja i odnos C/N. Povoljan odnos C/N za razgradnju organske materije je < 20 (Esmaeilzadeh & Ahangar 2014), što je i utvrđeno u svim analiziranim uzorcima. Slične rezultate dobili su i Bielińska et al. (2013) ispitujući urbana zemljišta izložena različitim antropogenim uticajima. Oni su pokazali da je odnos C/N značajno viši u zemljištu iz centra grada u odnosu na ona sa periferije, a kao razlog su naveli veći priliv antropogenog ugljenika.

6.1.3. Hemizam potencijalno toksičnih elemenata u zemljištu i njihov uticaj na funkcionisanje ispitivanih biljaka

Rezultati koji se odnose na hemizam potencijalno toksičnih elemenata u zemljištu i njihov uticaj na funkcionisanje ispitivanih biljaka prikazani su u poglavljima 5.1.3. - 5.3.2.

Aluminijum (Al)

Aluminijum predstavlja jedan od tri najzastupljenija elementa Zemljine kore i njegov ukupan sadržaj u zemljištu potiče od matičnih stena od kojih je zemljište formirano (Singh et al. 2017). Budući da predstavlja jedan od najzastupljenijih elemenata, Evropskim i nacionalnim zakonskim regulativama nisu propisane maksimalno dozvoljene koncentracije (MDK), granične i background vrednosti ovog elementa u zemljištu (Directive 86/278/EEC; SG RS 23/94, 88/2010; Gawlik & Bidoglio 2006). Rezultati dvofaktorske analize varijanse pokazali su da na razlike u sadržaju Al u ispitivanim zemljištima utiče lokalitet i biljna vrsta, ali je uticaj vrste dominantan (Tabela 6). Primetno je da je najveći sadržaj Al izmeren u uzorcima zemljišta iz Pančeva, a najniži u zemljištu iz Smedereva (Tabela 7). Međutim, ukupan sadržaj Al u zemljištu sa ispitivanih lokaliteta (13,7 - 50,4 g/kg) bio je viši od istih izmerenih u urbanim zemljištima u gradovima kao što su: Hamburg (~ 6 g/kg, Lux 1986) i Bangkok (~ 13,8 g/kg, Wilcke et al. 1998), odnosno nešto niži u odnosu na zemljišta iz Madrida (~ 75,43 g/kg, De Miguel 1998) i Valekamonike (~ 60,19 g/kg, Borgese et al. 2013). Rezultati dobijeni nakon četvrtog, dodatnog koraka sekvencijalne ekstrakcije (< 80%, Slika 8) ukazuju da je Al u ispitivanim zemljištima pretežno vezan za kristalne strukture primarnih i sekundarnih silikatnih minerala zemljišta (Matúš et al. 2006; Khan et al. 2010; Singh et al. 2017). U ovoj formi i pri alkalnim uslovima Al je veoma stabilan (MF = 0,11 - 0,40 %) i nedostupan za usvajanje od strane biljka te stoga ne predstavlja rizik u smislu fitotoksičnosti (Kabata Pendias & Pendias, 2001; Schmitt et al. 2016; Singh et al. 2017). Prirodno poreklo Al potvrđeno je korelacionom i PCA analizom. Naime, Al je uvek visoko korelisan sa prvom komponentom (PC1) koja bi se mogla definisati kao prirodni faktor, osim u Obrenovcu gde PC1 povezujemo sa pepelom i gde se poreklo Al vezuje za uticaj oba faktora (Tabela 10; Slika 7). Međutim njegova korelisanost sa drugim ispitivanim elementima (Tabela 9) varira u odnosu na lokalitet što je verovatno rezultat podjednakog doprinosa iz prirodnih i antropogenih izvora, odnosno može biti dovedena u vezu sa načinom formiranja urbanih zemljišta. Budući da je Al najzastupljeniji metal u zemljinoj kori i integralni sastojak minerala zemljišta, njegovo prisustvo u biljnim tkivima je očekivano, ali njegova specifična biološka uloga još nije poznata (Schmitt et al. 2016; Singh et al. 2017). Smatra se da u malim

koncentracijama može pozitivno uticati na rast biljke, aktivnost nekih enzima, a takođe utiče na kontrolu propustljivosti membrane i fizičke osobine plazme ćelija (Kabata Pendias & Pendias 2001). Toksičnost Al ispoljena je samo kada u zemljištu vladaju kiseli uslovi ($\text{pH} > 5,5$), odnosno kada se nalazi u rastvornoj monomernoj formi (Al^{3+} , AlOH^{2+} , $\text{Al}(\text{OH})_2^+$ i $\text{Al}(\text{OH})_3$) i tada deluje inhibitorno na ćelije korena sprečavajući njihov dalji rast i razvoj (Panda et al. 2009; Singh et al. 2017). Kako ispitivana zemljišta odlikuje alkalna reakcija, možemo zaključiti da biljkama koje tu rastu ne preti rizik od toksičnog delovanja Al bez obzira na njegov visok sadržaj u zemljištu.

Jedan od zadatih ciljeva istraživanja je utvrđivanje razlike u akumulaciji odabranih elemenata između ispitivanih vrsta i između ispitivanih tkiva (Tabele 16 i 32). Na osnovu dobijenih rezultata može se istaći da kora mleča i javora zadržavaju značajno veće količine Al u poređenju sa listovima, dok listovi i kora breze imaju priplizno isti sadržaj Al, mada ni jedna od ispitivanih vrsta ne predstavlja njegov akumulator ($\text{BCF} > 1$), Tabela 47. Ovakvo ponašanje breze nije neuobičajeno s obzirom da je za ovu vrstu karakteristična tanka i glatka kora koja ima osobinu da se ljušti u određenim vremenskim intervalima pa je u odnosu na grubu i neravnu koru mleča i javora odlikuje manja sposobnost za zadržavanje polutanata (El Hasan et al. 2002). Razlog efikasne akumulacije i zadržavanja elemenata u kori rezultat je njene porozne strukture (Berlizov et al. 2007; Sawidis et al. 2011). Literaturni podaci o sadržaju elemenata u kori različitih drvenastih vrsta se u manjoj ili većoj meri razlikuju i uslovljeni su vrstom i starošću biljke, različitim morfološkim karakteristikama kore, klimatskim uslovima, antropogenim faktorima i sl. (El Hasan et al. 2002; Reimann et al. 2007; Rykowska & Wasiak 2009; Kosiorek et al. 2016; Pavlović et al. 2017b). Pored toga, kapacitet listova ispitivanih vrsta da akumuliraju Al u Pančevu, Smederevu i Obrenovcu smanjuje se sledećim redosledom mleč > javor > breza, dok je u Beogradu i na kontroli zapažen nešto drugačiji poredak javor > mleč = breza. Ovi rezultati su u saglasnosti sa nalazima Tomašević et al. (2011) koji su utvrdili veći sadržaj Al kod mleča nego kod breze. Međutim, Simon et al. (2011) su u listovima javora i Petrova et al. (2011) u listovima breze konstantovali niži sadržaj Al u odnosu na iste utvrđene u ovom istraživanju. Različite količine elemenata u listovima iste biljne vrste ne predstavlja neuobičajenu situaciju, s obzirom na činjenicu da na njihov sadržaj u biljnim

tkivima utiče veliki broj faktora (starost i vrsta, lokacija uzorkovanja, klimatski uslovi, antropogene aktivnosti, sadržaj elemenata u zemljištu i dr.).

Bor (B)

Bor je metaloid široko rasprostranjen u prirodi sa prosečnim sadržajem u Zemljinoj kori od oko 10 mg/kg. To je element koga odlikuje veoma složena geochemija, a njegova koncentracija u zemljištu uslovljena je prirodom matične stene (Adriano 2001; Kabata Pendias & Pendias 2007; Tanaka & Fujiwara 2008). Rezultati dvofaktorske analize varijanse pokazali su da na razlike u sadržaju B u zemljištu na kojem rastu ispitivane biljne vrste podjednak uticaj imaju oba faktora varijabilnosti (lokalitet i biljna vrsta), Tabela 6. Kao i u slučaju Al, maksimalne količine B su izmerene u uzorcima zemljišta iz Pančeva, a minimalne u zemljištu iz Smedereva (Tabela 7). Sadržaj B na svim ispitivanim lokalitetima je bio veći od prosečnog sadržaja ovog elementa za zemljišta peskovitog i praškasto ilovastog sastava (22 - 40 mg/kg, Kabata Pendias & Pendias 2001) i veći od MDK u zemljištu saglasno pravilniku Republike Srbije (50 mg/kg, SG RS 23/94). Evropske i nacionalne zakonske regulative nisu propisale granične i background vrednosti za B u zemljištu (Directive 86/278/EEC; SG RS 88/2010; Gawlik & Bidoglio, 2006). Visok sadržaj B u zemljištu može biti rezultat alkalne reakcije zemljišta (Kabata Pendias & Pendias 2001), niskog nivoa padavina i visokih temperatura koje su obeležile ceo period istraživanja (RHMZ 2013a). Ovakvi uslovi su pogodovali smanjenoj rastvorljivosti B što je dovelo do njegovog nakupljanja u površinskom sloju zemljišta u količinama koje mogu biti toksične za biljke (Camacho-Cristóbal et al. 2008). Pored toga što B uglavnom vodi poreklo iz matičnog supstrata, u životnu sredinu može dospeti i iz antropogenih izvora kao što je sagorevanje uglja ili iz pepela koji pri tom nastaje (Adriano 2001), što bi moglo da bude posebno izraženo u Obrenovcu. Naime, mesta uzorkovanja u Obrenovcu su 4 km udaljena od termoelektrane “Nikola Tesla A” koja godišnje proizvede preko 2 000 000 t pepela (Kostić 2014). Pepeo iz termoelektrana karakteriše povišen sadržaj makro i mikro-elemenata među koje spada i B (Adriano 2001; Popović 2002; Pavlović et al. 2004; Mitrović et al. 2008; Gajić 2014; Kostić 2014). Bor poreklom iz pepela, zbog svoje velike mobilnosti predstavlja jedan od najznačajnijih zagađivača životne sredine u

okolini termoelektrana i deponija pepela (Pavlović et al. 2004; Kostić 2014; Pavlović et al. 2017b). Analizom podataka dobijenih korelacionom (Tabela 9) i PCA analizom (Tabela 10, Slika 7) utvrđeno je dominantno prirodno, geološko poreklo B u ispitivanim zemljištima. U Obrenovcu poreklo B se vezuje za uticaj oba faktora. PC1 komponentu u Obrenovcu povezujemo sa uticajem pepela i mogli bi da je definišemo kao antropogeni faktor, a PC2 kao prirodni faktor, dok na ostalim lokalitetima zbog visokog faktorskog opterećenja sa litogenim elementima (Al, Fe, Li), PC1 definišemo kao prirodni faktor, a elementi koji su značajno korelisani sa ovom komponentom vode poreklo iz matičnog supstrata, odnosno zemljišta. Visok sadržaj B u zemljištu ne znači nužno da on predstavlja rizik za životnu sredinu. Na količinu, bioraspoloživost i raspodelu B u zemljištu utiče priroda matičnog supstrata, tekstura zemljišta, pH, sadržaj organske materije, oksidi Al i Mn, sadržaj CaCO_3 , veza sa drugim elementima, klimatski faktori i sl. (Nable et al. 1997; Goldberg 1997; Hu & Brown 1997; Ahmad et al. 2012; Padbhushan & Kumar 2017), a primarna mesta za koja se adsorbije u zemljištu su upravo oksidi Fe i Al, minerali gline, CaCO_3 i OM (Goldberg & Su 2007). Pored svih navedenih faktora, najveći uticaj na ponašanje B u zemljištu i njegovu apsorpciju od strane biljaka ima pH reakcija zemljišta (Goldberg 1997; Hu & Brown 1997; Padbhushan & Kumar 2017). Pozitivna korelacija između pH zemljišta i sadržaja u vodi rastvornog i nespecifično vezanog B ustanovljena je od strane brojnih istraživača (Tsalidas et al. 1994; Hou et al. 1994; Xu et al. 2001; Datta et al. 2002). Frakcioni profil B pokazuje da je najveći udeo B vezan za kristalne strukture primarnih i sekundarnih minerala zemljišta (55,2 - 70,9 %), kao i da se u zavisnost od lokaliteta u značajnom procentu ekstrahuje u prva tri koraka ekstrakcije (Slika 8). Najveći udeo B u četvrtoj, rezidualnoj frakciji bio je u zemljištima koje karakteriše veći udeo frakcije gline (Tabela 4), što je i očekivano s obzirom da zemljišta sa većim udelom sitnijih granulometrijskih frakcija jače vezuju toksične elemente (Bradl 2004; Padbhushan & Kumar 2017). Hou et al. (1994) je predložio frakcionu šemu po kojoj se u rastvornom i specifično adsorbovanom obliku nalazi < 2 % ukupnog B, različiti oksidi, hidroksidi i za organsku materiju vezani oblici B čine između 2,3 - 8,6 %, a najveći udeo se nalazi u rezidualnoj frakciji. Zerrari et al. (1999) je takođe utvrdio dominaciju rezidualne frakcije. Dobijeni frakcioni profil za B je u većoj ili manjoj meri u saglasnosti sa gore pomenutim rezultatima, ali i u saglasnosti je sa nalazima drugih istraživača (Xu et al. 2001; Lucho-

Constantino et al. 2005). Iako se značajno manji udeo B nalazi u potencijalno dostupnoj formi (8,2 - 17,3 mg/kg), odnosno u izmenjivoj i kiselo rastvornoj frakciji (Tabela 11), on je iznad preporučenih vrednosti za tolerantne useve (4 - 15 mg/kg, Lucho-Constantino et al. (2005) što može ukazivati na potencijalnu fitotoksičnost, posebno zbog njegove velike mobilnosti (MF = 10,88 - 23,06 %). Od ukupno prisutnog B, u obliku dostupnom biljkama se obično nalazi između 5 % i 10 % (Power et al. 1997; Ahmad et al. 2012), odnosno između 3 % i 5 % (Kabata Pendias & Pendias 2001). Rezultati ove studije su pokazali nešto veći udeo B u izmenjivoj i kiselo rastvornoj frakciji (Slika 8) koja predstavlja najaktivniju, najmobilniju i najdostupniju frakciju jer su elementi u ovoj frakciji adsorbovani slabim elektrostatičkim interakcijama sa površinom zemljišta i mogu biti lako oslobođeni usled male promene pH i tako postati dostupni biljkama (You et al. 2016). Alkalna reakcija (pH > 8), visok sadržaj potencijalno dostupnog B i njegova velika mobilnost u zemljištu doveli su do nakupljanja B tokom sezone u listovima ispitivanih vrsta do nivoa koji su označeni kao toksični (50 - 200 mg/kg, Kabata Pendias & Pendias 2001).

Bor predstavlja esencijalni mikro - nutrijent neophodan biljkama u veoma niskim koncentracijama za normalan rast i razvoj. Specifičnost B se ogleda u uskom opsegu koncentracija između deficitarnih i toksičnih pri čemu se normalne količine u biljnim tkivima kreću u širokom opsegu vrednosti (10 - 100 mg/kg), premda prvi simptomi toksičnosti mogu biti uočeni već pri koncentracijama većim od 50 mg/kg (Kabata Pendias & Pendias 2001). U zemljištu se B nalazi u obliku malog neutralnog molekula borne kiseline ($B(OH)_3$ ili H_3BO_3) koji biva pasivnim procesom, bez učešća transportnih proteina usvojen od strane korena i dalje transpiracionim tokom kroz ksilem transportovan u vršne delove biljke (Nable et al. 1997; Gupta 2007; Tariq & Mott 2007; Miwa & Fujiwana 2010; Ahmad et al. 2012; Naqib & Jahan 2017). Pored pasivnog transporta, B može biti usvojen i aktivnim transportom, ali samo u slučaju kada su njegove koncentracije u zemljištu niske (Tariq & Mott 2007; Miwa & Fujiwana 2010) i tada je u proces transporta uključeno nekoliko membranskih transportera (Miwa & Fujiwana 2010). Mehanizam delovanja B značajno se razlikuje u odnosu na druge esencijalne mikro - nutrijente. Elementi poput Zn, Cu i Mn su integralne komponente enzima neophodnih za brojne metaboličke procese u biljkama, a takođe mogu biti i njihovi aktivatori odnosno inhibitori, međutim slična uloga B nije potvrđena iako su

njegovi efekti na različite metaboličke procese (metabolizam ugljenih hidrata, transport šećera, metabolizam fenola i auksina, razvoj i diferencijacija tkiva, formiranje ćelijskog zida, reprodukcija, metabolizam nukleinskih kiselina i dr.) eksperimentalno pokazani (Tariq & Mott 2007; Naqib & Jahan 2017). Bor kod većine vrsta teži da se akumulira na marginama i vrhovima listova, s obzirom da su listovi najvažniji organi u procesima asimilacije i transpiracije i upravo se na ovim mestima najčešće pojavljuju tipični vidljivi simptomi toksičnosti (Nable et al. 1997; Gupta 2007) u vidu marginalnih i/ili vršnih hloroza i nekrotičnih površina na površini listova. Drveće koje raste na ispitivanim urbanim staništima bilo je izloženo istovremenom delovanju različitih stresnih faktora kao što su: suša, napad patogena, deficitaran (Cu, Mn i Zn) ili toksičan (B, Sr) sadržaj pojedinih mikro - nutritijenata, koji su doveli do morfoloških promena na njihovim listovima. Tokom juna, morfološke promene su bile manjeg intenziteta, osim kod breze u Obrenovcu gde su nekroze zahvatale značajnu površinu lista. Kako je sezona odmicala simptomi oštećenja su postajali izraženiji, pri čemu su kod breze bile izražene hloroze koje su zahvatale značajnu površinu lista, kao i ivične i marginalne nekroze i suvi vrhovi, dok su najveća oštećenja detektovana na listovima mleča iz Smedereva kod kojeg je veći deo lista bio nekrotičan i suv. Na kraju sezone, oštećenja u vidu hloroza i nekroza su bile najizraženije, pri čemu su najveća oštećenja pretrpeli listovi mleča i javora iz Smedereva i Obrenovca i listovi breze iz Beograda (Slike 16 - 18). Potrebno je istaći da sadržaj B varira u zavisnosti od starosti i pozicije lista, odnosno da je veći u marginalnim i vršnim delovima listova i da se povećava sa starošću lista (Nable et al. 1997; Tariq & Mott 2007). Toksičan sadržaj B dovodi do fizioloških promena poput inhibicije rasta korena i izdanaka, smanjenja sadržaja hlorofila, intenziteta fotosinteze, provodljivosti stoma, depozicije lignina i suberina, peroksidacije lipida i dr. Svi ovi morfo - fiziološki simptomi se javljaju pre pojave prvih vidljivih simptoma toksičnosti koji se po pravilu uočavaju u eksperimentima sa primenom ekstremno visokih koncentracija B (Nable et al. 1997; Reid et al. 2009; Landi et al. 2012).

Imajući ovo u vidu, analiziran je fotosintetički odgovor merenjem efikasnosti fotosinteze i koncentracije fotosintetskih pigmenata ispitivanih drvenastih vrsta. Vrednosti parametra efikasnosti fotosinteze (Fv/Fm) kod mleča (0,721 - 0,823), javora (0,658 - 0,815) i breze (0,731 - 0,842) na svim ispitivanim lokalitetima bile su niže ili

unutar optimalnog opsega utvrđenog za listopadno drveće (0,750 - 0,850, Bjorkman & Demmig 1987). Najnižu efikasnost fotosinteze kod mleča pokazale su individue iz parkova u Smederevu i Beogradu, kod javora individue iz Smedereva, a kod breze iz Beograda (Tabela 49), ukazujući na negativan uticaj toksičnog sadržaja B na efikasnost fotosinteze. Vrednosti niže od optimalnih ukazuju na fotoinhibitorna oštećenja koja nastaju usled delovanja jednog ili više stresnih faktora na staništu uključujući teške metale (Larcher 1995; Pavlović et al. 2004; Mitrović et al. 2008; Kostić et al. 2012; Gajić et al. 2013). Brojna istraživanja su pokazala da B u toksičnim koncentracijama dovodi do inhibicije procesa fotosinteze, međutim mehanizam njegovog delovanja nije u potpunosti razjašnjen a informacije koje su dostupne su oskudne i često kontradiktorne (Han et al. 2008; 2009; Ardic et al. 2009; Guidi et al. 2011; Chen et al. 2012a; Landi et al. 2012). Pavlović et al. (2004) su u svojim istraživanjima na biljnim vrstama koje rastu na deponijama pepela u Obrenovcu, potvrdili negativan uticaj povišenog sadržaja B i deficitarnog sadržaja Cu i Mn na fotosintetičku efikasnost kod ispitivanih vrsta biljaka. Pored toga oni navode da nepovoljni uslovi na staništu (deponovanje čestica pepela na površinu listova biljka i ekstremni mikroklimatski uslovi pre svega suša i ekstremno visoke temperature) značajno doprinose ovakvom odgovoru biljaka. Neki autori smatraju da na smanjenje intenziteta fotosinteze u uslovima toksičnog sadržaja B utiče smanjena asimilacija CO₂, usled smanjene aktivnosti nekih enzima uključenih u taj proces ili usled strukturnih oštećenja na hloroplastima (Han et al. 2009; Landi et al. 2012; 2013). Pod takvim okolnostima, višak svetlosne energije može dodatno podsticati stvaranje reaktivnih kiseoničnih vrsta (ROS) (Landi et al. 2012; 2013) koje oksiduju organske molekule, hlorofile ili lipide i indukuju ćelijsku smrt, a kao rezultat se javljaju oštećenja na marginama i vrhovima listova (Guidi et al. 2011; Landi et al. 2012). Svi ovi stresori utiču na sadržaj hlorofila (Chl a, Chl b) i ukupnih karotenoida koji predstavljaju biljne pigmente čija je uloga da u procesu fotosinteze apsorbuju svetlost i da je nizom fotohemijskih reakcija prevedu u biljkama neophodna energetska bogata hemijska jedinjenja. Karotenoidi su esencijalne strukturne komponente antena i reakcionih centara fotosintetskog aparata i imaju poseban značaj u procesu fotosinteze gde prikupljaju svetlosnu energiju koju dalje preko molekula Chl b prenose do Chl a. Pored uloge u procesu fotosinteze, karotenoidi kao neenzimski antioksidanti, štite fotosintetski aparat od fotooksidativnih oštećenja

izazvanih ROS (Joshi & Swami 2009). Fotosintetski pigmenti su osetljivi na promene u okolini izazvane emisijom različitih zagađujućih materija zbog čega predstavljaju osetljive indikatore zagađenja i njihova kvantifikacija obezbeđuje korisne informacije o fiziološkom statusu biljaka (Cervilla et al. 2012; Doganlar et al. 2012; Palit et al. 2013; Gajić et al. 2016; Sen et al. 2017). Uočeno je da različite zagađujuće materije i drugi stresni uslovi na staništu uzrokuju smanjenje ukupnog sadržaja hlorofila (Fargašová 2001; Tripathi & Gautam 2007, Joshi & Swami 2007; 2009; Baek et al. 2012; Giri et al. 2013) tako što inhibiraju enzime ključne za njihovu biosintezu ili substituišu centralni Mg jon u molekulu hlorofila (Dezhban et al. 2015). Međutim, neke od prethodnih studija su pokazale da izlaganje toksičnim elementima indukuje oksidativni stres praćen povećanjem sadržaja hlorofila (Mitrović et al. 2012; Keser et al. 2013; Nabeela et al. 2015; Dezhban et al. 2015). Rezultati dobijeni u ovoj studiji su pokazali da je sadržaj Chl a i Tot Carot na početku vegetacijske sezone bio najniži i da je tokom sezone rastao i dostizao maksimalne vrednosti tokom avgusta i oktobra (Tabele 52 i 61), dok Chl b pokazuje suprotan trend (Tabela 54). Povećanje sadržaja Chl a i Tot Carot u listovima ispitivanih biljaka bi mogao da predstavlja neki vid adaptivnog odgovora biljaka na promene tokom sezone. Najniže koncentracije Chl a i ukupnih hlorofila (Chl a + Chl b, Tabela 56) i Tot Carot kod mleča i breze su utvrđene u Beogradu, ukazujući da toksičan sadržaj B u listovima ovih vrsta tokom sezone može uticati na sadržaj pigmenata, što je u saglasnosti sa ranijim ispitivanjima (Papadakis et al. 2004; Han et al. 2009; Chen et al. 2012a; Landi et al. 2013). Drugačije ponašanje javora u Beogradu verovatno je rezultat nižeg sadržaja B u listovima u odnosu na istu vrstu na drugim lokalitetima i u odnosu na druge dve vrste (Tabele 18 i 19). Važno je naglasiti da znatan uticaj na sadržaj fotosintetskih pigmenata u listovima ispitivanih vrsta imaju i drugi faktori, koji se odnose na individualne karakteristike svake od ispitivanih vrsta biljaka i njihovu sposobnost da tolerišu stresne uslove povećavajući količinu pigmenata. Suprotno ponašanje Chl b u odnosu na Chl a nije neuobičajeno i verovatno je rezultat činjenice da različite vrste zagađivača imaju različit efekat na sadržaj pigmenata, pa se tako odgovor biljke može pripisati interakciji između različitih tipova zagađujućih materija, kao i drugim abiotičkim faktorima (visoka temperatura, suša, intenzivna insolacija i dr.) i opisan je i od strane drugih autora (Keser et al. 2013; Dezhban et al. 2015). Zapažanja

predstavljena u ovom radu vezana za smanjenje sadržaja Chl b u skladu su sa nekim podacima iz literature (Fargašová et al. 2001; Gajić et al. 2009).

Dalje su rezultati pokazali da kora svih ispitivanih vrsta sa svih lokaliteta ima značajno manji sadržaj B u poređenju sa listovima, kao i da se količina B u listovima povećava vremenom i dostiže maksimalne koncentracije na kraju vegetacijske sezone, odnosno tokom avgusta kod mleča iz Pančeva i Beograda (Tabele 18 i 34). Iako nije moguće izdvojiti jednu vrstu kao potencijalno dobar ili loš akumulator B, generalno posmatrajući listovi breze iz Beograda su se tokom celog perioda istraživanja odlikovali najvećim sadržajem B, dok je na svim ostalim lokalitetima najveći sadržaj B izmeren u listovima javora (Tabela 19). Ovakvo ponašanje breze u Beogradu je verovatno posledica sinergističkog delovanja više faktora poput najveće količine dostupnog B u izmenjivoj i kiselo rastvornoj frakciji (MF = 23,06%), visokog pH (pH > 8), ali i mogućeg deponovanja ovog elementa iz atmosfere na šta ukazuje i značajna negativna korelacija koja je ustanovljena tokom juna između sadržaja B u listovima i sadržaja u zemljištu (-0,999*), dok su u istom periodu u Obrenovcu konstantovane značajne pozitivne korelacije (0,974**). Visok sadržaj B u listovima breze iz Beograda odrazio se na intenzitet fotosinteze i na sadržaj fotosintetskih pigmenata (Chl a, Chl b, Chl a+b, Tot Carot) koji su bili niži u odnosu na istu vrstu sa drugih lokaliteta. Wang et al. (2011) su u svojim istraživanjima uticaja toksičnih koncentracija B na fotosintezu i antioksidativni sistem kod kruške (*Pyrus pyrifolia*) utvrdili da B u toksičnim koncentracijama dovodi do smanjenja koncentracije Chl a, Chl b, Tot Carot i inhibicije fotosinteze. Iako je u Obrenovcu ukupan sadržaj B u zemljištu bio viši od prosečnog (Tabela 7), veći udeo gline (29,02 %) je uslovio njegovu manju dostupnost (Bradl et al. 2004). Vrednosti BCF za listove i koru (Tabela 47) ukazuju na mali kapacitet ispitivanih biljaka za akumulaciju B.

Hrom (Cr)

Hrom predstavlja sedmi najzastupljeniji element (Nriagu 1988), odnosno dvadeset prvi najzastupljeniji metal u Zemljinoj kori gde njegov prosečni sadržaj iznosi 100 mg/kg (Adriano 2001; Sinha et al. 2005; Economou-Eliopoulos et al. 2013; Shahid et al. 2017). Iako ne predstavlja esencijalni element za biljke, kategorisan je kao kancerogen broj 1

(IARC 1987), zbog čega je neophodno detaljno proučavanje i praćenje njegovog ponašanja u životnoj sredini, posebno u odnosu zemljište - biljka (Shahid et al. 2017). Dvofaktorska analiza varijansi je pokazala da na razlike u sadržaju Cr u ispitivanim zemljištima značajan uticaj imaju oba faktora varijabilnosti, ali za razliku od drugih ispitivanih elemenata, u slučaju Cr lokalitet i vrsta zajedno imaju dominantan uticaj (Tabela 6). Sadržaj Cr u ispitivanim zemljištima je varirao u širokom opsegu vrednosti pri čemu su, isto kao kod Cu i suprotno od Al i B, najviše koncentracije Cr izmerene u zemljištu iz Smedereva, a najniže u zemljištu iz Pančeva (Tabela 7). Njegov sadržaj na svim ispitivanim lokalitetima je bio veći od prosečnog sadržaja za zemljišta peskovitog i praškasto ilovastog sastava (47 - 51 mg/kg, Kabata Pendias & Pendias 2001), dok su koncentracije Cr iznad MDK u zemljištu saglasno pravilniku Republike Srbije (100 mg/kg, SG RS 23/94) i iznad background vrednosti za Cr u alkalnim zemljištima saglasno preporuci Evropske komisije (100 mg/kg, Gawlik & Bidoglio 2006), izmerene u Pančevu u zemljištu gde raste mleč, zatim u Smederevu u zemljištu gde raste javor i breza i u Obrenovcu u zemljištu gde raste mleč i javor. Koncentracije Cr iznad graničnih vrednosti za dati tip zemljišta saglasno uredbi Republike Srbije (SG RS 88/2010) izmerene su u Pančevu u zemljištu gde raste mleč, u Smederevu u zemljištu gde raste javor i breza, i u Obrenovcu u zemljištu gde raste mleč i javor. Direktivom saveta Evropske zajednice nisu definisane granične vrednosti koncentracija Cr u zemljištu (Directive 86/278/EEC). Povišene koncentracije Cr na ovim lokalitetima bi mogle da budu rezultat antropogenog zagađenja, odnosno blizine industrijskih postrojenja (Pacyna & Pacyna 2001; Kabata Pendias & Pendias 2001; Kuzmanoski et al. 2014). Međutim, utvrđene vrednosti za Cr su u nivou background vrednosti za ispitivana zemljišta, što ukazuje i na njegovo geološko poreklo (Mrvić et al. 2011; Pavlović et al. 2018). Ranije analize zemljišta u zoni urbanih parkova i prometnih saobraćajnica u Beograda takođe ukazuju na varijabilan sadržaj Cr (43,1 - 159,9 mg/kg, Gržetić & Ghariani 2008; 92 - 122 mg/kg, Kuzmanoski et al. 2014; 57,9 - 101,5 mg/kg, Mladenović et al. 2016), zbog čega rezultate nije moguće uporediti. Slična varijabilnost Cr ustanovljena je u zemljištu na teritoriji Smedereva gde se njegov sadržaj kretao od 34,78 - 137,60 mg/kg (Čakmak et al. 2016), i u saglasnosti su sa rezultatima za Smederevo dobijenim u ovom istraživanju (72,1 - 126,6 mg/kg). Korelaciona i PCA analiza (Tabele 9 i 10) pokazale su da Cr uglavnom vodi poreklo iz zemljišta, odnosno

da je njegova količina uslovljena načinom formiranja parkovskih površina. Antropogeni uticaj je najizraženiji upravo u Smederevu, pri čemu se u manjem obimu odnosi i na druge istraživane parkove. Visok sadržaj Cr u zemljištima na kojim rastu ispitivane drvenaste vrste ne predstavlja nužno faktor rizika za njihov rast s obzirom da Cr u zemljištu može biti prisutan u različitim oksidacionim stanjima (+2 do +6), pri čemu su sa stanovišta životne sredine najvažniji heksavalentni hromat Cr (VI) i trivalentni hromit Cr (III), kao najstabilniji i dominantni oblici Cr u prirodi, a njegova specijacija zavisi od redoks potencijala i pH reakcije zemljišta (Adriano 2001; Gržetić & Ghariani 2008; Shahid et al. 2017). Oksido-redukциони procesi Cr (VI) i Cr (III) u zemljištu su termodinamički spontani i mogu se odvijati istovremeno (Shahid et al. 2017). Hrom je odličan primer elementa čiji različiti hemijski oblici imaju suprotne efekte (Caporale & Violante 2016). Naime, obe ove forme Cr se razlikuju u pogledu sorpcije, biodostupnosti u zemljištu, apsorpcije i translokacije u nadzemne delove biljaka kao i u toksičnim efektima koje imaju na biljake (Choppala et al. 2016; Shahid et al. 2017). Za razliku od Cr (III), Cr (VI) je veoma mobilan u zemljištu i ekstremno toksičan (10 - 100 puta) za žive organizme sa mutagenim, kancerogenim i teratogenim potencijalom (Caporale & Violante 2016; Prado et al. 2016; Shahid et al. 2017). Tokom ovog istraživanja nisu određena različita oksidaciona stanja Cr, međutim imajući u vidu da je Cr (III) slabo rastvorljiv u vodi i da pri pH iznad 5,5 biva potpuno istaložen (Gržetić & Ghariani 2008; Ghariani et al. 2010) može se pretpostaviti da u ispitivanim zemljištima koja odlikuje alkalna reakcija ($\text{pH} > 8$), dominira Cr (III). Trovalentni hrom je veoma stabilan u zemljištu što je potvrđeno sekvencionalnom analizom gde se Cr najvećim delom nalazio u rezidualnoj frakciji (68,0 - 84,1 %), dok je ostatak bio vezan za organsku materiju, sulfide, Fe i Mn okside i hidrokside (Slika 8). Sadržaj Cr u izmenjivoj i kiselo rastvornoj frakciji je bio veoma nizak (ispod nivoa detekcije aparata), Tabela 11. Ovakvi rezultati ukazuju na jaku asocijaciju Cr sa nerastvornom frakcijom što ga čini slabo pokretnim i nedostupnim biljkama za usvajanje i u skladu su sa nekim ranijim istraživanjima (Ghrafat et al. 2012; Osakwe 2013; Bielicka-Gieldoń et al. 2013). Organska materija, sulfidi i jedinjenja Fe su odgovorni za redukciju šestovalentnog u trovalentni Cr, naime OM redukuje Cr (VI) i nastaje veoma stabilan Cr (III)-organski kompleks (Caporale & Violante 2016). Neophodno je istaći da zemljište iz Smedereva odlikuje nešto veći udeo Cr u reducibilnoj ($\sim 16\%$) i oksidabilnoj (~ 14

%) frakciji, što ovaj metal čini potencijalno mobilnijim i dostupnijim biljkama u Smederevu u odnosu na druge lokalitete (Slika 8). Pored toga, ovakav frakcioni profil Cr ukazuje i potvrđuje njegovo dvojno (prirodno i antropogeno) poreklo u Smederevu (Ghrefat et al. 2012). Snažna veza Cr sa čvrstom fazom zemljišta kao i ograničena translokaciju Cr iz korena u više delove biljke (Shahid et al. 2017), direktno se odrazila na količinu usvojenog Cr. Njegov sadržaj u listovima ispitivanih biljaka bilo je moguće kvantifikovati kod svih ispitivanih vrsta samo tokom juna i tada je varirao od 0,98 mg/kg u listovima breze iz Smedereva do 6,04 mg/kg u listovima javora sa kontrole (Tabela 30). Tokom avgusta i oktobra sadržaj Cr u listovima javora je bio ispod nivoa detekcije aparata, dok je kod druge dve vrste količina usvojenog Cr bila nešto viša i istu je bilo moguće povremeno kvantifikovati.

Hrom je potencijalno toksičan element i nema nikakvu esencijalnu metaboličku funkciju u biljkama (Shanker et al. 2005; Shahid et al. 2017), stoga se ne može govoriti o njegovom deficitarnim koncentracijama. Međutim za normalan sadržaj Cr u biljnim tkivima smatra se opseg od 0,1 mg/kg do 0,5 mg/kg, a sve koncentracije iznad 5 mg/kg se mogu smatrati toksičnim (Kabata Pendias & Pendias 2001). Kvantifikovan sadržaj Cr u listovima ispitivanih vrsta je bio viši od normalnog sadržaja i niži od toksičnog sadržaja za biljna tkiva, osim kod mleča i javora sa kontrolnog lokaliteta gde je sadržaj Cr u dostizao toksičan nivo. Ponašanje Cr u zemljištu, transfer iz zemljišta u biljku i akumulacija u biljnim tkivima je uslovljena njegovom specijacijom u zemljištu, vrstom biljke i fizičko-hemijskim osobinama zemljišta, pri čemu značajnu ulogu u ovim procesima imaju i mikroorganizmi zemljišta (Shahid et al. 2017). Biljke mogu da usvajaju oba oblika Cr, ali mehanizam usvajanja nije u potpunosti poznat. Pretpostavlja se da Cr biva usvojen preko specifičnih i nespecifičnih kanala za apsorpciju esencijalnih mikro - nutritijenata. Usvajanje Cr (III) je pasivan proces (Shanker et al. 2005), dok usvajanje Cr (VI) zbog njegove strukturne sličnosti sa fosfatima i sulfatima uglavnom ide putem njihovih transportera (de Oliveira et al. 2014; de Oliveira et al. 2016). U biljci, Cr se uglavnom akumulira u korenu i ima ograničenu translokaciju u nadzemne delove biljke (Shahid et al. 2017). Toksičan sadržaj Cr dovodi do niza morfoloških, fizioloških i biohemijskih promena, međutim količina usvojenog Cr nije dostizala toksične nivoe, te stoga toksični efekti Cr na ispitivane drvenaste vrste nisu dalje diskutovani.

Upoređujući tkiva ispitivanih vrsta zapaženo je da na početku vegetacijske sezone listovi imaju veću sposobnost za usvajanje Cr u odnosu na koru, a kasnije tokom sezone odnos je bio obrnut ukazujući na potencijalnu depoziciju ovog elementa iz vazduha (Tabele 30 i 46). Istraživanja Kosiorek et al. (2016) su pokazala da listovi i kora mleča i breze imaju sličnu sposobnost za usvajanje Cr. Listovi mleča pokazuju nešto veći potencijal za usvajanje Cr nego listovi breze, što nije u saglasnosti sa nalazima Petrova et al. (2014). Količine Cr su imale široku amplitudu variranja u zavisnosti od lokaliteta, ukazujući na različite uslove koji su vladali u urbanim sredinama. Ranija istraživanja Tomašević et al. (2011) na drvenastim vrstama koje rastu u urbanim parkovima u Beogradu su takođe pokazala širok raspon koncentracija Cr u listovima mleča i breze.

Bakar (Cu)

Bakar predstavlja dvadeset peti najzastupljeniji element i jedan od najvažnijih metala u Zemljinoj kori i njegov prosečni sadržaj u zemljištu se kreće u opsegu od 25 - 75 mg/kg (Adriano 2001; Kabata Pendias & Pendias 2007; Kopsell & Kopsell 2007). Rezultati dvofaktorske analize varijanse ukazali su da je na razlike u sadržaju Cu u ispitivanim zemljištima dominantan uticaj imao lokalitet (Tabela 6), pri čemu su najviše koncentracije uvek bile izmerene u Smederevu i Beogradu, a najniže u Pančevu i kontrolnom staništu (Tabela 7). Koncentracije Cu u svim ispitivanim zemljištima su bile u okviru prosečnog sadržaja ovog elementa za zemljišta peskovitog i praškasto ilovastog sastava (13 - 23 mg/kg, Kabata Pendias & Pendias 2001) i nisu prelazile propisane MDK u zemljištu saglasno pravilniku Republike Srbije (100 mg/kg, SG RS 23/94), kao ni granične vrednosti propisane Direktivom saveta Evropske zajednice (50-140 mg/kg, Directive 86/278/EEC) i uredbom Republike Srbije (SG RS 88/2010), Tabela 7. Izuzetak predstavljaju zemljišta iz Smedereva, Beograda i zemljište na kojem raste mleč u Obrenovcu gde su izmerene vrednosti Cu bile više od prosečnog sadržaja ovog elementa za zemljišta peskovitog i praškasto ilovastog sastava (13 - 23 mg/kg, Kabata Pendias & Pendias 2001). Bakar u ovim koncentracijama, međutim ne predstavlja opasnost za životnu sredinu. Razlog za povišene koncentracije Cu u Beogradu i Smederevu u odnosu na ostale lokalitete bi mogao da bude lokalnog

karaktera. Povišene koncentracije u Beogradu se mogu dovesti u vezu sa intenzivnim saobraćajem imajući u vidu da korozija metalnih delova automobila kao rezultat habanja motora i kočnica dovodi do oslobađanja Cu u životnu sredinu (Van Bohemen & Van de Laak 2003; Akan et al. 2013). U Smederevu pored saobraćaja, glavni izvor zagađenja potiče od industrije, posebno od železare, što je utvrđeno i ranijim istraživanjima Dragović et al. (2014) koji su izmerili povišene koncentracije Cu u površinskom sloju zemljišta u okolini železare u Smederevu. Od ranije je poznato da tokom sagorevanja uglja i procesa u proizvodnji čelika dolazi do oslobađanja različitih zagađujućih materija u životnu sredinu, među kojima su i Cu, Pb i Fe (Bargagli et al. 1998; Anagnostatou 2008; Sawidis et al. 2011). Rezultati istraživanja zagađenosti zemljišta u okviru nekoliko zona u Beogradu koje je sprovedeno od strane Sekretarijata za zaštitu životne sredine u periodu od 2011 - 2013 godine pokazuju da količina Cu u površnom sloju zemljišta sakupljenom u blizini prometnih saobraćajnica varira u opsegu od 21,6 mg/kg do 264,0 mg/kg, i u čak 33 uzorka je bila viša od graničnih vrednosti za dati tip zemljišta (SG RS 88/2010). Kao razlog povišenih vrednosti Cu autori navode štetne uticaje iz okruženja koji su uglavnom rezultat aerozagađenja i/ili aktivnosti u neposrednoj blizini mesta uzorkovanja (Mladenović et al. 2016). Zemljišta u Beogradu, posebno u užoj gradskoj zoni (u blizini buleva i u gradskim parkovima) bilo je predmet istraživanja brojnih autora (Crnković et al. 2006; Gržetić & Ghariani 2008; Kuzmanoski et al. 2014; Andrejić et al. 2016), koji su pokazali da se koncentracije Cu kreću u širokom intervalu vrednosti i da se obično najviše koncentracije detektuju u zemljištu koje se prostire neposredno uz frekventne saobraćajnice. Rezultati istraživanja nepoljoprivrednog zemljišta u nekoliko industrijskih zona većih gradova u Srbiji su pokazali da se količina Cu u zemljištima u okolini železare u Smederevu kretala u rasponu od 18,17 mg/kg do 175,05 mg/kg, sa prosečnom vrednošću od 43,09 mg/kg (Čakmak et al. 2016). Autori ovog istraživanja navode da postoji izvesni antropogeni uticaj koji utiče na povišenje sadržaja Cu ali je on minimalan (Čakmak et al. 2016). Međutim u poređenju sa prethodnim istraživanjima za Beograd i Smederevo, rezultati za Cu dobijeni analizom ukupnog sadržaja elemenata u ispitivanim zemljištima bili su uglavnom niži. Izmerene koncentracije Cu su takođe bile niže od istih izmerenih u zemljištima Madrida u Španiji (~ 71,7 mg/kg, De Miguel et al. 1998) i Šoprona u Mađarskoj (~ 118,38 mg/kg Horváth et al. 2015). Ispitujući sadržaj

potencijalno toksičnih elemenata u urbanom zemljištu parkova i javnih zelenih površina u Palermu u Italiji i primenjujući odgovarajuće statističke analize (PCA), Manta et al. (2002) su ustanovili povišene koncentracije Cu u zemljištu (~ 63 mg/kg) koji, kako oni navode, potiče iz antropogenih izvora, prevashodno iz saobraćaja. Rezultati korelacione i PCA analize (Tabele 9 i 10, Slika 7) ukazuju na drugačije poreklo Cu u Smederevu i Beogradu u odnosu na ostale lokalitete. Sekvencijalna ekstrakcija je pokazala da se između 43,4 % i 73,3 % Cu nalazi u rezidualnoj frakciji, a da se ostatak nalazi asociran za organsku materiju i sulfide (oksidabilna), odnosno za okside Fe i Mn (reducibilna) i samo mali deo u izmenljivoj i kiselo rastvornoj frakciji (Slika 8). Drugačija raspodela Cu između faza je utvrđena u uzorcima iz Smedereva i Beograda gde je procenat Cu ekstrahovanog u prve tri faze bio skoro jednak količini Cu utvrđenog u rezidualnoj fazi, što ovaj element čini potencijalno mobilnim i dostupnim i potvrđuje gore navedene rezultate. Težnja Cu da se vezuje za organsku materiju i sulfide primećena je i od strane drugih autora (Imperato et al. 2003; Mahanta & Bhattacharyya 2011; Yutong et al. 2016), i može se objasniti činjenicom da ovako formiran kompleks ima veliku stabilnost usled velikog afiniteta Cu (II) ka organskoj humusnoj materiji (Mahanta & Bhattacharyya 2011). Iako se Cu u prirodi može naći kao Cu (I) i Cu (II), u površinskim, aerisanim zemljištima uglavnom se nalazi kao Cu (II) i upravo se za ovu formu vezuje njegova biološka dostupnost i toksičnost (Kabata Pendias & Pendias 2001; Gržetić et al. 2008).

Bakar kao i B pripada grupi esencijalnih mikro - nutrijenata neophodnih za normalan rast i razvoj biljaka. Kao strukturna komponenta regulatornih proteina Cu je uključen u niz procesa koji su neophodni za normalno funkcionisanje biljaka (fotosinteza, respiracija, redukcija i fiksacija N, metabolizam ugljenih hidrata, odgovor na oksidativni stres i dr.), pored toga Cu utiče na vodni režim i na proizvodnju nukleinskih kiselina (Kabata Pendias & Pendias 2001; Yruela et al. 2005; Kopsell & Kopsell 2007; Shahbaz et al. 2015). Mehanizam usvajanja Cu od strane biljaka je veoma kompleksan i zavisi od njegovog oblika, količine i porekla u zemljištu, ali i od vrste biljke. Kada je sadržaj Cu u zemljištu u normalnom opsegu tada biljka koristi aktivni način transporta za njegovo usvajanje, dok je u uslovima toksičnih koncentracija pasivna apsorpcija takođe moguća. U poređenju sa drugim esencijalnim elementima, Cu odlikuje najslabija pokretljivost tako da najveći sadržaj usvojenog Cu ostaje na nivou

korena gde ostaje vezan za ćelijske zidove, a samo mali deo se premešta u nadzemne mlade organe (Kabata Pendias & Pendias 2001; Kopsell & Kopsell 2007). Za normalno obavljanje osnovnih fizioloških procesa u biljkama neophodno je 5 - 30 mg/kg Cu (Kabata Pendias & Pendias 2001), a njegov prosečan sadržaj u tkivima biljaka je oko 10 mg/kg (Baker & Seneft, 1995). Ipak, uprkos normalnom sadržaju Cu u zemljištu, njegove koncentracije u listovima i kori su bile niže od optimalnih, odnosno ispod prosečnih vrednosti za biljna tkiva (Tabela 20). Sadržaj Cu u listovima breze tokom cele vegetacijske sezone je bio na granici deficita ili u opsegu deficita (2 - 5 mg/kg, Kabata Pendias & Pendias 2001), dok je kod mleča to konstantovano u oktobru. Individue javora iz Obrenovca i Beograda tokom cele sezone imale su optimalan sadržaj Cu, dok je individue iz Smedereva u istom periodu odlikovao deficitaran sadržaj Cu. Alkalna reakcija zemljišta ($\text{pH} > 8$), mala količina dostupnog Cu u izmenjivoj i kiselo rastvornoj frakciji ($\text{MF} = 2,74 - 6,94 \%$) i nizak koeficijent transfera za Cu su uslovlili smanjenu rastvorljivost i dostupnost Cu biljkama. Pored toga, nizak sadržaj Cu može biti uslovljen visokim sadržajem Zn u ispitivanim zemljištima s obzirom da su Cu i Zn antagonisti tj. usvajanje jednog elementa može biti inhibirano od strane drugog jer biljka koristi iste mehanizme za njihovo usvajanje putem korena (Kabata Pendias & Pendias 2001). Aluminijum kao jedan od najzastupljenijih elemenata u zemljištu takođe može negativno da utiče na usvajanje Cu (Kopsell & Kopsell 2007). Prema literaturnim podacima nedovoljna snabdevenost Cu zbog njegove loše mobilnosti kroz biljku dovodi do morfoloških promena u vršnim delovima listova koje se, kako vegetacijska sezona odmiče šire duž margina listova. Simptomi oštećenja se prvo javljaju na mladim listovima i zavise od stepena deficijencije. Neki od uobičajenih simptoma su uvrtnje listova, usporen rast, skraćivanje internodija i pojave rozeta, promene boje tkiva, pojave hloroza ili čak nekroza (Yruela 2005; Kopsell & Kopsell 2007; Shahbaz et al. 2015). Morfološkom analizom listova ispitivanih biljaka utvrđeno je da se simptomi nedostatka Cu javljaju u vidu hloroza i/ili nekroza koje se vremenom šire i zahvataju ivične delove listova, a najizraženije su bile upravo kod breze gde je Cu bio u deficitu gotovo tokom cele sezone (Slike 16 - 18). Uočene morfološke promene su, kako je ranije naglašeno, rezultat delovanja više stresnih faktora, poput toksičnog sadržaja B, nedovoljnog sadržaja Cu, visokih temperatura, aerozagađenja i suše. Pre pojave vidljivih simptoma, nedostatak Cu može uticati na fotosintetički odgovor, odnosno može se odraziti na

efikasnost fotosinteze, obzirom da je glavna meta nedovoljnog sadržaja Cu u biljkama plastocijanin, protein koji je neophodan za nesmetan transfer elektrona do PS I tokom procesa fotosinteze, a čija je produkcija smanjena usled nedostatka Cu (Yruela 2005; Yamasaki et al. 2008; Shahbaz et al. 2015). Najnižu efikasnost fotosinteze kod javora imale su individue iz Smedereva kod kojih je i sadržaj Cu tokom cele vegetacijske sezone bio u opegu deficita. Pavlović et al. (2007) su u svojim istraživanjima na *Spirea van - hzautteii* (Briot.), u urbanim zonama Beograda, utvrdili negativan uticaj smanjenog sadržaja Cu na fotosintetičku efikasnost ove vrste. Sličan efekat smanjenog sadržaja Cu na parameter efikasnost fotosinteze pokazali su Shahbaz et al. (2015) testirajući hibride bele topole (*P. tremula* x *P. alba*, INRA 717-1B4.) u eksperimentalnim uslovima. Ranije je pomenuto da je sadržaj Chl a i Tot Carot na početku sezone bio najmanji i da se povećavao u drugom delu sezone, dok je Chl b karakterisao suprotan trend. Istraživanja uticaja teških metala na rast i sadržaj pigmenata kod *Arabidopsis thaliana*, koja su sprovedi Baek et al. (2012), pokazala su da pri niskim koncentracijama Cu dolazi do povećanja koncentracije hlorofila i karotenoida, pri čemu dodatno povećanje koncentracije Cu rezultira smanjenjem njihove koncentracije. Pored toga, Cu predstavlja integralnu komponentu Cu/Zn superoksid dismutase, enzima koji se nalazi u citoplazmi, stomama hloroplasta i peroksizomima, a ključan je za uklanjanje ROS čime štiti ćelije od oksidativnog stresa (Yamasaki et al. 2008; Shahbaz et al. 2015). Nedovoljna produkcija ovog enzima bi mogla da uslovi porast koncentracije ROS, međutim karotenoidi kao neenzimski antioksidanti, štite fotosintetski aparat od fotooksidativnih oštećenja izazvanih ROS (Joshi & Swami 2009), te se stoga povećanje sadržaja Tot Carot u drugom delu vegetacijske sezone može smatrati nekim vidom adaptivnog mehanizma ispitivanih biljaka za opstanak u nepovoljnim uslovima staništa. Neki autori smatraju da još jedan od načina da biljka savlada nedostatak Cu, jeste da sintetiše alternativne proteine koji sadrže Fe u aktivnom centru, a koji upotpunjuju funkciju proteina sa Cu (Yamasaki et al. 2008).

Upoređujući sadržaj Cu u listovima i kori ispitivanih vrsta biljaka konstantovano je da kora mleča sa svih lokaliteta ima veću sposobnost za usvajanje Cu u odnosu na listove (Tabele 20 i 36), što je u skladu sa nalazima Kosiorek et al. (2016). Kod javora i breze nije moguće napraviti jasnu razliku između listova i kore s obzirom na primetan uticaj lokaliteta i vegetacijske sezone na količinu usvojenog Cu (Tabele 21 i 37), pri

čemu bi se generalno moglo reći da obe vrste tkiva imaju istu sposobnost za usvajanje Cu. Sličan odnos Cu u listovima i kori *Betula pubescens* Ehrh. konstantovali su u svom istraživanju Reimann et al. (2007), dok su Kosiorek et al. (2016) kod *Betula pendula* Roth. utvrdili viši sadržaj Cu u kori u odnosu na listove. Takođe je primećeno da je gotovo uvek najviše Cu deponovano na kori ispitivanih vrsta koje rastu u Beogradu, ukazujući i na depoziciju iz vazduha kao direktan efekat intenzivnog saobraćaja. Slične rezultate dobili su Sawidis et al. (2011) za koru platana (*Platanus orientalis* L.) i crnog bora (*Pinus nigra* Arn.) u Beogradu u odnosu na koru istih vrsta u Solunu i Salzburgu.

Ispitivane drvenaste vrste pokazuju različitu varijabilnost u količinama usvojenog Cu (Tabela 21), pri čemu ni jedna ne predstavlja akumulator ovog elementa, već pre njegov ekskluder ($BCF > 1$), Tabela 47. Varijabilnost u usvajanju Cu je očekivana s obzirom da sadržaj Cu značajno varira u zavisnosti od vrste (Parzych & Jonczak 2013, Pavlović et al. 2017c), što je potvrđuju rezultati trofaktorske analize varijansi (Tabela 15). Rezultati ukazuju na veću metaboličku aktivnost odabranih biljnih vrsta u prvom delu sezone, što rezultira većim usvajanjem Cu. Sličnu sezonsku dinamiku kod kestena i drugog listopadnog drveća su utvrdili Kim & Farguson (1994), Aničić et al. (2011), Pavlović et al. (2017b) i donekle Piczak et al. (2003), koji su primetili da su koncentracije Cu najviše u mladim listovima i da se njegov sadržaj vremenom smanjuje. Od svih ispitivanih vrsta na svim lokalitetima, najviše Cu su usvojili listovi javora iz Beograda, što direktno može biti rezultat većeg udela ovog elementa u izmenjivoj i kiselo rastvornoj, reducibilnoj i oksidabilnoj frakciji (~ 55 %) i njegovog višeg ukupnog sadržaja u zemljištu na kojem raste javor u Beogradu (26,82 mg/kg) u odnosu na druge lokalitete. Takođe, specifična morfološka struktura periferijskih zaštita listova javora (naborana kutikula, krupne ćelije epidermisa na licu i papilozne ćelije na naličju) doprinose zadržavanju čestica, i tako većem sadržaju Cu kod ove vrste. Literaturni podaci takođe ukazuju da je sadržaj Cu u listovima drvenastih vrsta veoma raznolik, naime nalazi Petrove et al. (2011) na *B. pendula* L. koje rastu u urbanim, suburbanim delovima Plovdiva u Bugarskoj su u saglasnosti sa rezultatima ove studije (3,4 - 6,1 mg/kg), Kosiorek et al. (2016) su utvrdili značajno niže koncentracije Cu u listovima *A. platanooides* L. (0,79 - 1,55 mg/kg) i *B. pendula* L. (0,73 - 1,72 mg/kg), dok su Tomašević et al. (2011) izmerili više koncentracije Cu u listovima *A. platanooides* L. (7,94 - 17,0 mg/kg) i *B. pendula* L. (6,79 - 7,58 mg/kg) koje rastu u

Beogradskim parkovima izloženim različitim nivoima zagađenja. Podaci dobijeni za javor su u saglasnosti sa rezultatima Simon et al. (2011), koji su merili sadržaj elemenata u listovima *A. pseudoplatanus* L. (3,8 - 9.5 mg/kg) na području grada Beča. Na osnovu svega pomenutog moglo bi se zaključiti da odabrane vrste pokazuju sličan potencijal za usvajanje i akumuliranje Cu, pri čemu njegova koncentracija u listovima ispitivanih vrsta zavisi od fiziološkog statusa, starosti, uslova na staništu i dr.

Gvožđe (Fe)

Gvožđe predstavlja četvrti najzastupljeniji element, odnosno drugi najzastupljeniji metal u Zemljinoj kori gde je njegov sadržaj procenjen na oko 5 % (Kabata Pendias & Pendias 2001). Na razlike u njegovom sadržaju u ispitivanim zemljištima dominantan uticaj imao je lokalitet (Tabela 6), pri čemu su najviše koncentracije izmerene u Pančevu, a najniže u Beogradu (Tabela 7). Uticaj mesta uzorkovanja, odnosno načina korišćenja urbanih zemljišta na sadržaj Fe utvrđen je od strane drugih istraživača (Al Obaidy & Al Mashhadi 2013; Akan et al. 2013), koji su najviši sadržaj Fe obično merili u zemljištima u blizini industrije i prometnih saobraćajnica. Budući da predstavlja jedan od najzastupljenijih elemenata u litosferi, njegove maksimalno dozvoljene koncentracije, granične i background vrednosti u zemljištu nisu definisane evropskim i nacionalnim zakonskim regulativama (Directive 86/278/EEC; SG RS 23/94, 88/2010; Gawlik & Bidoglio 2006). Rezultati naših istraživanja ukazuju da su ispitivana urbana zemljišta bogata Fe i u skladu su sa podacima koji se navode u literaturi (De Miguel et al. 1998; Grubin 2016). Gvožđe odlikuje veoma složena geochemija koja je u velikoj meri uslovljena lakim i brzim promenama njegovog oksidacionog stanja kao odgovora na fizičke, hemijske i biološke procese u zemljištu. Oksidi Fe utiču na distribuciju drugih elemenata u zemljištu zbog čega imaju važnu ulogu u geochemijskim procesima (Kabata Pendias & Pendias 2001; Kabata-Pendias & Mukherjee 2007; Colombo et al. 2014). Hemijski je veoma reaktivan element i njegovo hemijsko ponašanje slično je ponašanju drugih metala, posebno Co i Ni i usko je povezano sa kruženjem O, S i C (Kabata-Pendias & Mukherjee 2007; Jelić et al. 2017). U zemljištu se u zavisnosti od redoks potencijala i pH može naći u više različitih oblika i to vezan za primarne minerale kao fero Fe (II), za sekundarne minerale kao feri Fe (III), rastvorno i izmenjivo Fe i Fe

vezano za organsku materiju u rastvornom ili nerastvornom obliku (Colombo et al. 2014). U ispitivanim zemljištima koje odlikuje alkalna reakcija ($\text{pH} > 8$), pretežno se nalazi u obliku Fe (III) oksida i hidroksida, dok je količina slobodnih Fe^{3+} i Fe^{2+} veoma mala (Nikolić 1999; Römheld & Nikolić 2007; Jelić et al. 2017). U ovakvim uslovima rastvorljivost neorganskog Fe svedena je na minimum (Römheld & Nikolić 2007; Jelić et al. 2017). Sekvencionalna analiza zemljišta ukazuje na snažnu vezu Fe sa silikatnim i oksidnim mineralima zemljišta, odnosno približno 90 % Fe pripada rezidualnoj frakciji (Slika 9), što ga čini najmanje dostupnim metalom ispitivanim drvenastim vrstama i zajedno sa podacima dobijenim korelacijom analizom (Tabela 9) i PCA (Tabela 10, Slika 7), potvrđuje njegovo gološko poreklo u ispitivanim zemljištima. Sadržaj Fe u izmenjivoj i kiselo rastvornoj frakciji se kretao od 0,01 % do 0,06 % i neznatan je u odnosu na njegov ukupan sadržaj (Tabela 11, Slika 9). Kabata-Pendias & Sadurski (2004) su standardnim metodama frakcionisanja takođe determinisali veoma mali procenat lako rastvorljive frakcije Fe (0,01 - 0,1 %), odnosno izmenjive (0,05 - 0,21 %). Pored toga, nalazi Tessier et al. (1979) ukazuju da je sadržaj Fe u izmenjivoj frakciji manji od 0,1 %. Ipak, uprkos slaboj dostupnosti Fe biljke zahvaljujući specifičnim adaptivnim mehanizmima uspevaju da obezbede neophodnu količinu Fe za obavljanje osnovnih metaboličkih procesa. Poznate su dve strategije kojima biljke pribegavaju kako bi obezbedile dovoljnu količinu Fe. Prva strategija se zasniva na povećavanju aktivnosti ili aktivaciji Fe (III) reduktaze, enzima vezanog za ćelijsku membranu; zatim na povećanju ukupne količine otpuštenih protona; oslobađanju helirajućih i redukujućih supstanci i razvoju korena i korenovih dlačica, a karakteristična je za monokotiledone i dikotiledone biljke, izuzev trava. Za biljke koje primenjuju drugu strategiju, među koje spadaju i trave karakteristično je povećano izlučivanje neproteinskih aminokiselina (fitosiderofore) koje heliraju neorgansko Fe (III) u rizosferi. Biljka tako nastale komplekse Fe (III)-fitosiderofora usvaja posredstvom specifičnog transportnog sistema na ćelijskoj membrani (Nikolić 1999; Römheld & Nikolić 2007; Morrissey & Gueinor 2009; Grubin 2016).

Gvožđe se svrstava u grupu esencijalnih elemenata i biljkama je neophodan za sintezu hlorofila, razvoj hloroplasta, metabolizam nukleinskih kiselina, aktivaciju enzima, fotosintezu, respiraciju i dr. Pored toga, Fe je integralni deo brojnih proteina među koje spadaju hem proteini (katalaza, peroksidaza, citohrom i dr.) i Fe-S proteini

(superoksid dismutaza, ferodoksin, nitrit reduktaza i dr.) (Kabata-Pendias & Pendias 2001; Römheld & Nikolić 2007; Grubin 2016). Njegova količina u biljkama kreće se u širokom opsegu vrednosti i zavisi od vrste, uslova koji vladaju u zemljištu, klimatskih faktora i stepena razvoja biljke. Pored već pomenutih faktora, na usvajanje Fe od strane biljaka značajan uticaj ima i sadržaj drugih elemenata i teških metala u zemljištu koji su česti antagonisti usvajanja Fe (Kabata-Pendias & Pendias 2001). Velika varijabilnost u sadržaju Fe ustanovljena je i ovim istraživanjima. Naime, ukupan sadržaj Fe u listovima ispitivanih vrsta je tokom vegetacijske sezone varirao u širokom opsegu vrednosti (95,142 - 310,913 mg/kg kod mleča; 106,783 - 615,679 mg/kg kod javora; 86,016 - 361,446 mg/kg kod breze), Tabela 22. Kod mleča i javora najniži sadržaj izmeren je na početku sezone, a najviši na kraju vegetacijske sezone, dok kod breze ovakvu pravilnost nije bilo moguće utvrditi (Tabela 22). Iz literaturnih podataka poznato je da u fazi intenzivnog rasta biljku odlikuje niži sadržaj Fe (Scheffer et al. 1979), koji se zatim u starijim listovima povećava (Romheld & Nikolić 2007). Piczak et al. (2003) su ustanovili da sadržaj Fe u listovima mleča (*Acer platanoides* L.), breze (*Betula verrucosa* Ehrh.), lipe (*Tilia platyphyllos* L.) i vrbe (*Salix fragilis* L.) koje rastu u urbanim delovima Poljske raste tokom vegetacijske sezone i da varira u zavisnosti od mesta uzorkovanja i vrste, što je uglavnom u saglasnosti sa našim rezultatima. Literaturni podaci ukazuju takođe da količine Fe koje se mogu smatrati normalnim za biljke zavise od vrste, te se tako za trave normalnim opsegom smatraju koncentracije od 43 mg/kg do 376 mg/kg, za povrće koncentracije od 29 mg/kg do 130 mg/kg, a za mahovine koncentracije od 120 mg/kg do čak 21000 mg/kg (Kabata-Pendias & Pendias 2001; Kabata-Pendias & Mukherjee 2007). Uprkos širokom opsegu variranja sadržaja Fe u biljkama, neki autori navode da se koncentracije Fe u listovima drvenastih vrsta u rasponu od 200 - 500 mg/kg mogu smatrati povišenim (Rademacher 2001), dok drugi smatraju da vrednosti iznad 300 mg/kg treba smatrati za toksične (Gowariker et al. 2009; Doganlar et al. 2012). Toksičan sadržaj Fe može da dovede do stvaranja ROS kroz Fentonovu reakciju (Kabata-Pendias & Mukherjee 2007; Morrissey & Gueinor 2009) koje uzrokuju oštećenja lipida, proteina i nukleinskih kiselina. Simptomi toksičnosti zavise od vrste biljke i najčešće se javljaju u vidu nekrotičnih pega ili promena u boji listova od tamno zelene, smeđe do ljubičaste (Kabata-Pendias & Pendias 2001). Iz prikazanih rezultata je evidentno, da su povišene ili toksične koncentracije Fe

povremeno dostizane, odnosno izmerene su u listovima mleča iz Pančeva (305,157 mg/kg) i Smedereva (310,913 mg/kg) u oktobru, zatim u listovima javora iz Beograda (389,027 - 615,679 mg/kg) tokom cele sezone i u oktobru u listovima javora sa kontrole (331,651 mg/kg). Kod breze, toksičan sadržaj Fe je utvrđen u avgustu kod individua iz Smedereva (361,446 mg/kg), Tabela 22. Međutim, kako ove koncentracije nisu ekstremno visoke i u nivou su vrednosti koje su izmerene od strane drugih istraživača u listovima istih ili sličnih drvenastih vrsta (Piczak et al. 2002; Sawidis et al. 2011; Tomašević et al. 2011; Kosiorek et al. 2016), moglo bi se pretpostaviti da one ne utiču značajno na metabolizam ispitivanih vrsta, što bi se odrazilo kroz smanjenje fotosintetske efikasnosti, promenu sadržaja pigmenata ili pojavu vidljivih simptoma oštećenja na listovima.

Upoređujući sadržaj Fe u listovima i kori, bez sumnje možemo reći da su tokom cele vegetacijske sezone u kori svih i ispitivanih vrsta biljaka akumulirane veće količine ovog elementa u odnosu na listove, jedino su listovi breze tokom oktobra pokazali slične ili nešto više sadržaje Fe u odnosu na koru, što se može dovesti u vezu sa njenom drugačijom strukturom u odnosu na mleč i javor (Tabele 22 i 38). Da bi izbegao sezonske varijacije Raimann et al. (2007) je istraživanje sproveo u jesenjem periodu gde je utvrdio viši sadržaj Fe u listovima u odnosu na koru breze, što je u skladu sa prikazanim rezultatima za oktobar. Slično razlike između kore i listova breze i javora konstantovali su Kosiorek et al. (2016). Ispitivane drvenaste vrste ne predstavljaju dobre akumulatore Fe ($BCF < 1$) i ni jedna se ne izdvaja po sposobnosti za usvajanje Fe (Tabela 47). Generalno, u Pančevu najviše Fe usvajao je mleč, u Beogradu i kontrolnom staništu javor, a u Smederevu i Obrenovcu nije moguće izdvojiti samo jednu vrstu, što potvrđuje dominantan uticaj lokaliteta na kojem biljke rastu. Prethodni literaturni podaci pokazuju da listovi mleča obično usvajaju veću količinu Fe nego listovi breze (Tomašević et al. 2011; Kosiorek et al. 2016). Treba istaći javor iz Beograda, koga su uprkos najnižim koncentracijama Fe u zemljištu, karakterisale značajno više koncentracije u listovima i kori (Tabela 23 i 39) tokom cele vegetacijske sezone. Ovakav rezultat bi mogao da ukaže i na atmosfersku depoziciju Fe koji je na listovima javora izraženija u odnosu na listove mleča i breze ali i da pojačanu depoziciju dovede u vezu sa specifičnim morfološkim karakteristikama listova javora. Upravo zadržavanje čestica na lisnim površinama zavisi od njihovih morfoloških i anatomskih

karakteristika, osobine deponovanih čestica, ali i klimatskih uslova i drugih faktora (Mitrović 1998; Sawidis et al. 2011; Doganlar et al. 2012; Popek et al. 2013; Gajić 2014; Simon et al. 2014; Sæbø et al. 2015; Sharma et al. 2015; Deljanin et al. 2016). Stoga, širokolisne vrste sa hrapavom površinom, kakav je javor, efikasnije zadržavaju čestice od vrsta sa glatkom površinom lista. Pored toga, za listove javora je karakteristično da su stome okružene papiloznim ćelijama koje takođe omogućavaju zadržavanje deponovanih atmosferskih čestica i njihovih agregata na naličju listova (Mitrović 1998).

Litijum (Li)

Litijum je najlakši alkalni metal koji je veoma zastupljen i ravnomerno raspoređen u zemljinoj kori (Kalinowska et al. 2013; Shahzad et al. 2016). Njegov sadržaj u zemljištu kontrolisan je uslovima koji su vladali tokom formiranja zemljišta pre nego njegovim početnim sadržajem u matičnoj steni (Kabata Pendias & Pendias 2001). Naša istraživanja su pokazala da je na razlike u njegovom sadržaju u ispitivanim zemljištima najveći uticaj imao lokalitet (Tabela 6). Kao u slučaju Al i B, maksimalne količine Li su izmerene u uzorcima zemljišta iz Pančeva, a minimalne u zemljištu iz Smedereva (Tabela 7). Sadržaj Li na svim ispitivanim lokalitetima bio je dva do tri puta veći od prosečnog sadržaja ovog elementa za zemljišta peskovitog i praškasto ilovastog sastava (22 - 46 mg/kg, Kabata Pendias & Pendias 2001), pri čemu nacionalnim i Evropskim regulativama (Directive 86/278/EEC; SG RS 23/94, 88/2010; Gawlik & Bidoglio 2006) nisu propisane njegove maksimalno dozvoljene, granične i background koncentracije u zemljištu. Zbog svog malog jonskog radijusa veoma je reaktivan katjon i u geohemijskim procesima lako izmenjuje atome sličnog radijusa, poput Mg^{2+} , Fe^{2+} , Al^{3+} . Budući da se nalazi inkorporiran u silikatnu matricu, on u zemljište može dospeti tokom prirodnog raspadanja sedimentnih stena, što je veoma spor proces pa ne postoji rizik od njegove potencijalne toksičnosti (Yalamanchali 2012). Pored prirodnih izvora Li, antropogeni izvori podrazumevaju neadekvatno odloženi komunalni otpad koji često sadrži baterije različitog sastava i namene, među kojima su i Li - jonske baterije, zatim otpad nastao tokom proizvodnje plastike, stakla, keramike, različitih legura i sl. Takođe, saobraćaj predstavlja jedan od izvora Li, obzirom da se ovaj element koristi u

proizvodnji širokog spektra maziva u automobilske industriji (Kabata-Pendias & Mukherjee 2007; Yalamanchali 2012). Analizom podataka dobijenih korelacijom i PCA analizom (Tabele 9 i 10, Slika 7) utvrđeno je dominantno prirodno, geološko poreklo Li u ispitivanim zemljištima. Podjednak uticaj prvog i drugog faktora konstantovan je u Obrenovcu, ukazujući na dvojno poreklo Li u zemljištu sa ovog lokaliteta (prirodno - geološko i antropogeno - pepeo nastao sagorevanjem uglja u termoelektranama). Naime, količina Li u uglju zavisi od uslova pod kojima je ugalj nastao (Kabata-Pendias & Mukherjee 2007) i može biti znatna u uglju i u proizvodima njegovog sagorevanja (Qin et al. 2015). Njegov status u zemljištu kontrolisan je brojnim faktorima (sadržaj OM, pH, CEC), među kojima teksturni sastav zemljišta ima dominantan uticaj. Naime, Li je inkorporiran u minerale gline i njegova zastupljenost u površinskim slojevima zemljišta snažno je korelisana sa finom granulometrijskom frakcijom ($< 0,02$ mm) (Kabata-Pendias & Mukherjee 2007). Rezultati sekvencijalne analize potvrđuju snažnu vezu Li sa osnovnim mineralima zemljišta (Slika 9). Najviše Li je ekstrahovano u četvrtom koraku sekvencijalne ekstrakcije (78,4 - 91,8 %), ukazujući na njegovu povezanost sa silikatnim mineralima. Ostatak je bio vezan za organsku materiju i sulfide (3,8 - 7,9 %) i za Fe i Mn okside i hidrokside (3,2 - 10,0 %). Ovakvi rezultati oslikavaju tipično ponašanje Li u zemljištu (Kabata-Pendias & Mukherjee 2007). Iako su značajne količine Li izmerene u ispitivanim zemljištima, čvrsta veza sa mineralima zemljišta, mala količina dostupne forme i uslovi koji su vladali u zemljištu ($\text{pH} > 8$) uslovili su smanjenu apsorpciju Li od strane biljke. Stoga je količina Li u listovima ispitivanih vrsta bila veoma niska i ispod nivoa detekcije aparata. Veruje se da je sadržaj Li u biljkama dobar pokazatelj njegovog statusa u zemljištu (Kabata-Pendias & Mukherjee 2007). Sadržaj Li u kori ispitivanih vrsta takođe je bio ispod granice detekcije aparata. Ovakvi rezultati indirektno mogu da potvrde dominantno prirodno poreklo Li na ispitivanim lokalitetima. Potrebno je istaći, da mehanizam usvajanja i translokacije Li kroz biljku još uvek nije u potpunosti razjašnjen, ali se pretpostavlja da biljke apsorbuju Li istim mehanizmima koje koriste za usvajanje drugih alkalnih elemenata (Na, K) (Kabata-Pendias & Mukherjee 2007; Shahzad et al. 2016). Usvajanje je efikasnije u uslovima kisele reakcije zemljišta, kada je i rastvorljivost Li veća (Shahzad et al. 2016).

Mangan (Mn)

Mangan zajedno sa Al i Fe predstavlja jedan od najzastupljenijih elemenata u litosferi. U geohemijskim procesima blisko je povezan sa Fe, a njihovi oksidi utiču na distribuciju drugih metala u zemljištu (Adriano 2001; Kabata Pendias & Pendias 2001). Na razlike u sadržaju ovog elementa u zemljištu na kojem rastu ispitivane drvenaste vrste dominantan uticaj imao je lokalitet (Tabela 6), odnosno najviše koncentracije su izmerene u Obrenovcu, a najmanje u Beogradu (Tabela 8). Kao u slučaju Al i Fe, maksimalno dozvoljene koncentracije, granične i background vrednosti za Mn u zemljištu nisu definisane evropskim i nacionalnim zakonskim regulativama (Directive 86/278/EEC; SG RS 23/94, 88/2010; Gawlik & Bidoglio 2006), a njegov prosečan sadržaj u zemljištima peskovitog i praškasto ilovastog sastava kreće se u opsegu od 270 - 525 mg/kg (Kabata Pendias & Pendias 2001). U ispitivanim zemljištima sadržaj Mn je bio izuzetno varijabilan, sa vrednostima višim od prosečnih vrednosti za zemljišta peskovitog i praškasto ilovastog sastava u Pančevu i Obrenovcu, zatim u Smederevu u zemljištu na kojem raste mleč i na kontroli ispod stabala mleča i breze (Tabela 8). Viši sadržaj Mn na ovim lokalitetima verovatno je poreklom iz lokalnih izvora zagađenja, s obzirom da pored raspadanja matične stene, Mn u zemljište može dospeti i različitim antropogenim aktivnostima (WHO 2004; Kabata Pendias & Mukherjee 2007). Ipak, njegov sadržaj u uzorcima zemljišta iz Beograda je nešto niži od vrednosti koje se navode u literaturi za zemljišta različitih parkova i urbanih zona u Beogradu (Gržetić et al. 2008; Kuzmanoski et al. 2014; Andrejić et al. 2016). Slična razlika konstatovana je i za Smederevo gde je sadržaj Mn takođe bio nešto niži od istog nađenog od strane Dragović et al. (2014) u zemljištima u okolini železare u Smederevu. Međutim izmerene vrednosti za Mn su u nivou istih izmerenih u različitim urbanim zemljištima Evrope i sveta (De Miguel et al. 1998; Manta et al. 2002; Madrid et al. 2002; Hamad et al. 2014). Analizom rezultata dobijenih nakon primene korelacione (Tabela 9) i PCA (Tabela 10, Slika 7) analize utvrđeno je da Mn uglavnom vodi poreklo iz matičnog supstrata. Međutim, u Smederevu je očigledan uticaj dodatnog faktora koji bi mogao biti antropogeni. Naime, statistički značajna pozitivna korelacija Mn sa Zn i negativna Mn i Zn sa PC1 i PC2 (Tabele 9 i 10), ukazuje da određena količina ovih elemenata u Smederevu ima drugačije poreklo u odnosu na druge elemente, verovatno poreklom iz

saobraćaja. Poznato je da izduvni gasovi iz automobila mogu biti izvor Mn, s obzirom da se metilciklopentadienil-mangan-trikarbonil (MMT) koristi kao dodatak aditivima u proizvodnji bezolovnog benzina (Howe et al. 2004; Ghariani et al. 2010). Rezultati sekvencijalne ekstrakcije potvrđuju drugačije poreklo Mn u Smederevu, s obzirom da je na ovom lokalitetu udeo Mn u izmenjivoj i kiselo rastvornoj frakciji najveći. Dalje je sekvencijalnom ekstrakcijom zemljišta uočeno da je najveći udeo Mn ekstrahovan u reducibilnoj frakciji, a zatim i u izmenjivoj i kiselo rastvornoj i rezidualnoj frakciji (Slika 9). Najviši sadržaj Mn u reducibilnoj frakciji je očekivan s obzirom da su primarna mesta delovanja hidroksilamin - hidrohlorida oksidi i hidroksidi Mn (Davidson et al. 2006). Mangan u ovoj formi može biti pod odgovarajućim uslovima oslobođen u životnu sredinu i tako predstavljati rizik za organizme na takvim staništima. Slično ponašanje Mn u urbanim zemljištima opisali su i drugi istraživači (Wilcke et al. 1998; Davidson et al. 2006; Mahanta & Bhattacharyya 2011), dok su Lu et al. (2007) ustanovili ravnomernu distribuciju Mn između izmenjive i kiselo rastvorne, reducibilne i rezidualne frakcije sa najmanjim udelom u oksidabilnoj frakciji. Slična distribucija Mn ustanovljena je i u nekim poljoprivrednim zemljištima (Tokalioğlu et al. 2010). Istraživanja Ghariani et al. (2010) ukazuju na povezanost Mn sa neorganskom frakcijom zemljišta koji pri neutralnim uslovima nije dostupan za usvajanje, dok u slabo kiseloj sredini trenutno postaje dostupan. Potrebno je istaći da uprkost tome što Mn uglavnom vodi poreklo iz matičnog supstrata i u ispitivanim zemljištima je bio prisutan u količinama koje ne bi trebalo da predstavljaju rizik za okolinu, njegov frakcioni profil ukazuje na njegovu visoku mobilnost (MF = 9,69 - 37,92 %) što ga čini potencijalno dostupnim biljkama. Mangan se u prirodi javlja u više različitih oksidacionih stanja zbog čega ga karakteriše veoma složeno biogeohemijsko ponašanje kao i učešće u oksido redukcionim procesima u kojima dolazi do formiranja velikog broja oksida i hidroksida različitih svojstava i stabilnosti (Adriano 2001; Kabata-Pendias & Mukherjee 2007). Divalentni Mn (Mn^{2+}) odlikuje najveća rastvorljivost u zemljištu i kao takav je dostupan biljkama za usvajanje, dok je rastvorljivost drugih formi mala (Millaleo et al. 2013). Pokretljivost i biodostupnost Mn u zemljištu snažno je kontrolisana redoks potencijalom i pH reakcijom zemljišta i pri višim pH ($pH > 8$), kakav je karakterisao ispitivana zemljišta, dolazi do formiranja oksida Mn (MnO_2 , Mn_2O_3 , Mn_3O_4 pa čak i Mn_2O_7) koje biljka nije u stanju da usvoji (Millaleo et al. 2013). Pored toga, visok pH

omogućava adsorpciju Mn za čestice zemljišta, što dodatno smanjuje njegovu dostupnost biljkama (Adriano 2001; Millaleo et al. 2013). Međutim kada govorimo o dostupnosti nekog elementa ne smemo zaboraviti uticaj biljaka. Biljke su vremenom razvile različite mehanizme kako bi čak i u nepovoljnim uslovima obezbedile mikro - nutrijente u količini koja im je neophodna za normalan rast i razvoj. Neki od tih mehanizama podrazumevaju izlučivanje različitih eksudata korena i aktivaciju enzima, a sve u cilju prevođenja elementa iz prvobitno nedostupnog oblika u rastvoran i dostupan oblik. Takođe je uticaj mikroorganizama zemljišta od velikog značaja (Kabata Pendias and Pendias 2001; Millaleo et al. 2013). Ipak i pored normalne količine Mn u zemljištu i njegove visoke mobilnosti i potencijalne dostupnosti, alkalna reakcija zemljišta ($\text{pH} > 8$) imala je dominantan uticaj na njegovu bioraspoloživost, što je uslovalo da ga biljke usvajaju u količinama koje povremeno tokom vegetacijske sezone nisu bile u nivou koji se smatra optimalnim za normalno funkcionisanje ispitivanih vrsta (30 - 300 mg/kg Kabata-Pendias & Pendias 2001), Tabela 24. Takođe, visok sadržaj Fe u zemljištu može usloviti slabije usvajanje Mn, obzirom da su Fe i Mn antagonisti (Kabata-Pendias & Pendias 2001). Nasuprot tome, toksičan sadržaj Mn u tkivima biljaka koje rastu na alkalnim zemljištima je takođe moguć usled formiranja složenih anjona Mn (Kabata-Pendias and Pendias 2007), što je i utvrđeno u listovima mleča iz Beograda gde su u drugom delu sezone izmerene toksične koncentracije Mn (> 400 mg/kg Kabata-Pendias & Pendias 2001), (Tabela 24).

Mangan predstavlja još jedan esencijalni mikro - nutrijenat koji je biljkama potreban u procesu fotosinteze, respiracije, sinteze hlorofila, sinteze ATP, sinteze acil lipida, flavonoida, lignina i proteina. Pored toga integralni je deo brojnih enzima među koje spadaju Mn - superoksid dismutaza, Mn - katalaza, arginaza, fosfotransferaza (Kabata-Pendias & Mukherjee 2007; Millaleo et al. 2013; Zhao et al. 2017). Efikasnost usvajanja je pored gore pomenutih svojstava zemljišta uslovljena vrstom i stepenom razvoja biljke (Kabata-Pendias & Pendias 2001; Schmidt et al. 2016; Pavlović et al. 2017c). Obično je usvajanje Mn metabolički kontrolisano, međutim u uslovima povišenih koncentracija Mn, pasivna apsorpcija je takođe moguća (Kabata-Pendias & Mukherjee 2007). Mangan u biljkama ima nezamenjivu funkciju, ali i uprkos tome nedostatak ovog elementa često je praćen izostankom vidljivih simptoma oštećenja. Naime, deficit Mn se prvo odražava na hloroplaste, a simptomi se obično javljaju prvo

na mladim listovima u vidu difuznih i/ili intervenalnih hloroza koje na starijim listovima prelaze u nekroze (Siebielec & Chaney 2006; Humphries et al. 2007; Schmidt et al. 2016). Simptomi deficita su specifični i često se mogu jasno razlikovati od istih izazvanim nedostatkom Fe (Humphries et al. 2007). Na listovima ispitivanih biljaka nije bilo moguće uočiti intervenalne hloroze, osim povremeno na listovima breze kod koje je deficit Mn bio i najizraženiji (Slika 18). Mangan ima vitalnu ulogu u procesu fotosinteze i nedovoljno snabdevanje ovim elementom dovodi do fotoinhibicije PSII (Schmidt et al. 2016). Potrebno je naglasiti da je stepen deficijencije korelisan sa parametrom efikasnosti fotosinteze (Fv/Fm) (Schmidt et al. 2016), pri čemu je njegova vrednost značajno smanjena u uslovima deficita. Naime, mnogo pre pojave prvih vidljivih simptoma deficita Mn dolazi do smanjenja vrednosti Fv/Fm (Schmidt et al. 2016), što ga čini pogodnim parametrom za praćenje deficita Mn. Kao što je već ranije pomenuto, vrednosti parametra efikasnosti fotosinteze bile su niže ili jednake od predloženog optimalnog opsega za listopadno drveće, što ukazuje da deficitaran sadržaj Mn zajedno sa toksičnim sadržajem B i nedovoljnim sadržajem Cu može da ima nepovoljan uticaj na ispitivane biljke, ali ne u meri koja bi ozbiljno ugrozila njihovo funkcionisanje. Moguće da je nizak sadržaj Mn u listovima breze iz Smedereva, Obrenovca i Beograda uslovio nešto nižu vrednost parametra efikasnosti fotosinteze na ovim lokalitetima. Takođe, neadekvatno snabdevanje biljaka Mn se može odraziti i na sadržaj fotosintetičkih pigmenata. U svojim istraživanjima Candan & Tarhan (2011) su utvrdili značajno niži sadržaj hlorofila i karotenoida kod biljaka koje rastu u uslovima deficita Mn, nego kod onih sa kontrolnog staništa, ukazujući da, u našem slučaju, najniži sadržaj hlorofila i karotenoida kod ispitivanih vrsta u junu može biti rezultat deficita Mn u odnosu na ostatak vegetacijske sezone. Pored toga, ranija istraživanja o efektima Mn na biljke pokazala su da sa povećanjem sadržaja Mn dolazi do smanjenja koncentracije hlorofila (Shanker et al. 2004; Wang et al. 2012), ukazujući da je značajno viši sadržaj Mn u listovima mleča iz Beograda verovatno uslovio niži sadržaj Chl a, Chl b, Chl a+b i Tot Carot, kao i slabiju fotosintezu kod ove vrste u Beogradu u odnosu na istu vrstu sa drugih lokaliteta. Uticaj Mn na sadržaj fotosintetskih pigmenata je jednim delom potvrđen i značajnim korelacijama koje su konstantovane između sadržaja fotosintetskih pigmenata i Mn u junu i oktobru kod mleča i tokom cele sezone kod javora (Strane 140-142). Zanimljivo je napomenuti da je sadržaj Mn dostizao

maksimalne vrednosti u drugom delu sezone, što ukazuje na slab transfer Mn kroz floem tako sprečavajući njegovu remobilizaciju iz starijih u mlađe listove (Schmidt et al. 2016). Istraživanja (Pavlović et al. 2017c) na jednogodišnjim i dvogodišnjim četinama crnog bora su takođe pokazala da je sadržaj Mn viši u starijim delovima biljke.

Upoređujući tkiva ispitivanih vrsta uočeno je da se u kori mleča akumulira više Mn nego u listovima, dok kod javora obe vrste tkiva karakteriše isti nivo akumuliranog Mn. Breza je zbog specifične strukture kore pokazala drugačije ponašanje, odnosno u listovima je izmeren veći sadržaj Mn nego u kori (Tabele 24 i 40). Izuzetak predstavlja javor iz Beograda (listovi) i breza iz Pančeva (kora). Ovakvo ponašanje mleča u Beogradu i breze u Pančevu je verovatno rezultat lokalnih uslova, odnosno uticaja atmosferske depozicije. Na osnovu izračunatog BCF jasno je da se ispitivane vrste biljaka ne mogu smatrati akumulatorima Mn ($BCF < 1$), Tabela 47, već pre njihovim ekskluderima. Generalno, brezu karakteriše najmanja sposobnost za akumuliranje Mn u listovima, dok se mleč i javor smenjuju u zavisnosti od lokaliteta u količini usvojenog Mn. Takođe je neophodno istaći da uprkos normalnom sadržaju Mn u zemljištu, mleč iz Beograda su karakterisale značajno više koncentracije Mn u poređenju sa istim sa drugih lokaliteta. Razlog za ovakvo ponašanje mleča nije moguće objasniti, mada bi se moglo pretpostaviti da znatan deo Mn na ovom lokalitetu potiče i iz vazduha. Pored toga, frakcioni profil Mn u uzorcima zemljišta na kojem raste mleč u Beogradu (Beograd 2, Slika 9) pokazuje veći udeo u izmenjivoj i kiselo rastvornoj frakciji. U svojim istraživanjima Siebielec & Chaney (2006) su takođe primetili neočekivano dobro usvajanje Mn od strane biljaka koje rastu na alkalnim zemljištima, pri čemu nisu mogli da utvrde da li su osobine zemljišta doprinele ovakvom ishodu. Istraživanja Kosiorek et al. (2016) na listovima i kori mleča i breze su pokazala da listovi mleča usvajaju više Mn nego listovi breze, što je u saglasnosti sa našim rezultatima. Međutim, oni takođe tvrde da se u kori obe ispitivane vrste akumulira značajno manje Mn nego u listovima, što je u skladu sa rezultatima dobijenim za brezu, ali ne i za mleč. Pored razlike u kapacitetu za akumulaciju između vrsta, ovi autori su takođe uočili značajan uticaj mesta uzorkovanja, prema izvoru i nivou zagađenja, na sadržaj Mn u biljnim tkivima. Uticaj mesta uzorkovanja (lokaliteta) na razlike u sadržaju Mn primećene su i u ovim istraživanjima (Tabele 15 i 31). Sličnu sposobnost za akumulaciju kod a mleča i breze utvrdili su Gorelova et al. (2011), kao i Tomašević et al. (2011) za listove mleča

koji raste u urbanim delovima Beograda. Ove razlike su očekivane s obzirom na različitu morfološku strukturu njihovih listova.

Nikl (Ni)

Nikl je dvadeset treći element po zastupljenosti u Zemljinoj kori gde je njegov prosečan sadržaj procenjen na oko 80 mg/kg (Adriano 2001). Rezultati dvofaktorske analize varijansi pokazali su da je na promene u sadržaju Ni u ispitivanim zemljištima dominantan uticaj imao lokalitet (Tabela 6), odnosno kao u slučaju Cu i Cr, najviše koncentracije su izmerene u zemljištu iz Smedereva, a najniže u zemljištu iz Pančeva (Tabela 8). Koncentracije Ni u svim ispitivanim zemljištima bile su značajno više od prosečnog sadržaja ovog elementa za zemljišta peskovitog i praškasto ilovastog sastava (13 - 26 mg/kg, Kabata Pendias & Pendias 2001), jedino je u uzorcima zemljišta na kojem rastu breze u Pančevu njegov sadržaj bio u okviru prosečnih vrednosti. Vrednosti više od propisanih MDK u zemljištu saglasno pravilniku Republike Srbije (50 mg/kg, SG RS 23/94) izmerene su u svim uzorcima zemljišta iz Pančeva (izuzetak je zemljište ispod breze), Smedereva i Obrenovca, a više od graničnih vrednosti propisanih Direktivom saveta Evropske zajednice (30 - 75 mg/kg, Directive 86/278/EEC) karakterisale su zemljište na kojem rastu mlec i javor u Obrenovcu i javor i breza u Smederevu (Tabela 8). Koncentracije Ni iznad graničnih vrednosti za dati tip zemljišta, saglasno uredbi Republike Srbije (SG RS 88/2010) izmerene su na svim lokalitetima, izuzetak su uzorci zemljišta iz Pančeva i sa kontrolnog lokaliteta na kojem rastu breze. Ovakvi rezultati nisu neočekivani s obzirom da zemljišta u Republici Srbiji karakteriše visok sadržaj Ni usled njegovog geološkog porekla (Mrvić et al. 2009; Kuzmanoski et al. 2014). Imajući u vidu i činjenicu da je kontaminacija zemljišta Ni moguća usled uticaja industrije (Wei & Yang 2010), nije moguće u potpunosti isključiti antropogeni uticaj u Pančevu, Smederevu i Obrenovcu. Slična zapažanja imali su i autori studije o zagađenosti zemljišta u okviru definisanih zona u Beogradu, gde je Ni element koji je najčešće izlazio iz opsega graničnih vrednosti (SG RS 88/2010). Brojna istraživanja zemljišta sprovedena na teritoriji Beograda se u većoj ili manjoj meri podudaraju i sva bez obzira na utvrđenu količinu Ni u zemljištu imaju zajednički zaključak, a to je da sadržaj Ni oslikava prirodno obogaćenje zemljišta tokom pedoloških procesa, ali i da se

ne sme zanemariti mogućnost od kontaminacije zemljišta Ni usled uticaja industrije, termo - energetske kompleksa, saobraćaja i komunalnih delatnosti (Crnković et al. 2006; Gržetić & Ghariani 2008; Kuzmanoski et al. 2014; Andrejić et al. 2015; Mladenović et al. 2016). Slična situacija je konstantovana i na području Smedereva, gde su Čakmak et al. (2016) utvrdili samo povremeno prekoračenje graničnih vrednosti (SG RS 88/2010), pri čemu smatraju da je ponašanje Ni u zemljištu uslovljeno prirodom geološkog supstrata. Dragović et al. (2014) su takođe utvrdili da u zemljištima u okolini železare u Smederevu dolazi do povremenog prekoračenja sadržaja Ni u odnosu na zakonske propise, kao i da se sa udaljenošću od železare njegov sadržaj blago povećava. Dobijene vrednosti za Ni (21,5 - 134,7 mg/kg, Tabela 8) bile su više od istih izmerenih u urbanim zemljištima gradova kao što su Palermo (~ 18 mg/kg; Manta et al. 2002), Sevilja (~ 23 mg/kg; Madrid et al. 2002) i Šopron (~ 25,74 mg/kg Horváth et al. 2015) odnosno nešto niži u odnosu na zemljišta Torina (~ 300 mg/kg; Madrid et al. 2008). Korelaciona i PCA analiza pokazuju dvojno poreklo Ni u ispitivanim zemljištima (Tabele 9 i 10, Slika 7). Uticaj antropogenog faktora je očigledan i može se objasniti lokalnim izvorima emisije, a to su u Pančevu rafinerija i petrohemija, Smederevu železara, Obrenovcu termoelektrana i deponija pepela, a u Beogradu saobraćaj, industrija i individualna ložišta (Kabata-Pendias & Mukherjee 2007; Pavlović et al. 2018). Frakcioni profil za Ni pokazuje da je u zemljištu Pančeva (zemljište na kojem rastu mleč i javor) i Smedereva Ni pretežno vezan za okside i hidrokside Fe i Mn, dok je ostatak raspoređen između rezidualne, organske, izmenjive i kiselo rastvorne frakcije (Slika 9). Stoga, ukoliko se u zemljištu stvore odgovarajući uslovi u smislu redoks potencijala, pH i saliniteta može doći do njegovog oslobađanja iz reducibilne frakcije čime postaje rizik za životnu sredinu (Jain et al. 2007). Imajući u vidu najviši ukupan sadržaj Ni u Smederevu i njegov visok udeo u reducibilnoj frakciji, jasno je da na ovom lokalitetu postoje prirodni i antropogeni izvori ovog elementa (Ghrefat et al. 2012), što je statistički i potvrđeno. Na ostalim lokalitetima najveći deo Ni bio je vezan za silikatne i oksidne minerale, dok je ostatak bio asociran sa oksidima Fe i Mn, kao i sa organskom materijom, ukazujući na njegovo tipično ponašanje u zemljištu. Sličan frakcioni profil za Ni u zemljištu Beograda utvrdili su Ghariani et al. (2010). Oni smatraju da je Ni u ispitivanim zemljištima vezan za nerastvornu organsku materiju, usled značajnog njegovog udela u poslednje dve faze sekvencijalne ekstrakcije

(oksidabilna i rezidualna faza). Organska materija pokazuje izrazitu sposobnost da apsorbuje Ni, te otuda potiče i njegova velika zastupljenost u uglju i nafti (Kabata-Pendias & Mukherjee 2007). Slično ponašanje Ni u zemljištu utvrdili su Lu et al. (2007) i Ghrefat et al. (2012), dok Davidson et al. (2006) i Osakwe (2013) ukazuju na dominantan udeo Ni u rezidualnoj frakciji. Nikl u zemljištu može biti prisutan u više oblika koji se razlikuju po svojoj mobilnosti i biodostupnosti. Usvajanje Ni zavisi od osobina zemljišta (sadržaj OM, gline, pH), porekla Ni, ali i od osobina same biljke. Najznačajniji faktor koji utiče na usvajanje Ni je pH vrednost zemljišta. Mobilnost Ni obrnuto je proporcijonalna pH vrednosti zemljišta, odnosno sa povećanjem pH iznad 6,5 dolazi do naglog pada u količini dostupnog Ni. Sekretacija organskih anjona i modifikacija pH vrednosti zemljišta u rizosferi može značajno da smanji adsorpciju Ni u zemljištu i na taj način poveća dostupnost biljkama (Kabata-Pendias & Pendias 2001; Siebielec & Chaney 2006; Kabata-Pendias & Mukherjee 2007). U zemljišnom rastvoru Ni se javlja u obliku katjona, anjona i kompleksa koje odlikuje visoka konstanta stabilnosti (Kabata-Pendias & Mukherjee 2007). Međutim, biljke mnogo bolje i efikasnije usvajaju Ni u jonskom obliku (Ni^{2+}) koristeći mehanizam pasivnog transporta, nego u formi kompleksa (Ahmad & Ashraf 2011). Koncentracija Ni u biljkama sa nezagađenih zemljišta je prilično varijabilna i zavisi od ekoloških faktora (Kabata-Pendias & Pendias 2001). U tkivima ispitivanih biljaka, Ni je bilo moguće kvantifikovati samo u listovima mleča i javora tokom juna i u kori svih vrsta takođe u junu, pri čemu je dalje tokom vegetacijske sezone njegov sadržaj u obe vrste tkiva bio ispod nivoa detekcije aparata (Tabele 30 i 46). Na smanjeno usvajanje Ni najveći uticaj je imala alkalna reakcija zemljišta, pri čemu mehanizam transporta Ni kroz biljku i interakcija sa drugim elementima (Fe, Cu, Zn) dodatno doprinosi ovakvom ishodu. Slična sezonska kolebanja Ni u listovima *Prunus laurocerasus* L., *Buxus sempervirens* L. i *Mahonia aquifolium* (Pursh) Nutt. konstatovala je Grubin (2016) i takvo ponašanje je objasnila velikom mobilnosti Ni putem floema što uzrokuje njegovu dobru preraspodelu iz starijih listova u mlađa tkiva naročito u fazi rasta (Kabata-Pendias & Pendias 2001; Brown 2007; Page & Feller 2015; Grubin 2016). Međutim, Mitrović (1998) je ustanovila značajne količine Ni u listovima mleča, javora i breze tokom cele vegetacijske sezone u parku pored hale Pionir u Beogradu. Razlog za ovakvo ponašanje istih biljnih vrsta bi mogao da bude smanjen intenzitet zagađivanja poslednjih godina,

usled prestanka rada industrijskih postrojenja čime je i njihova koncentracija u vazduhu smanjena. Ovoj tvrdnji idu u prilog podaci o sadržaju Ni u suspendovanim česticama, čije koncentracije nisu prelazile ciljne vrednosti u godini kada je istraživanje i obavljeno (20 ng/m^3 , SG RS 11/10, 75/10 i /63/13, Tabela 1).

Dugo već postoje polemike o esencijalnoj ulozi Ni u biljkama. Danas se sa sigurnošću može reći da Ni ima veoma važnu ulogu u biljkama, odnosno sastavni je deo metalo enzima kao što su ureaza, malat dehidrogenaza, nitrat reduktaza, Ni - Fe hidrogenaza i brojni drugi (Brown 2007; Ahmad & Ashraf 2011; De Macedo et al. 2016). Količina koja se smatra dovoljnom za normalno funkcionisanje biljaka varira u opsegu od 0,1 - 5 mg/kg (Kabata Pendias & Pendias 2001) i veoma je mali raspon između minimalnih koncentracija za optimalno funkcionisanje i koncentracija koje mogu biti toksične, što za biljke predstavlja svojevrsan izazov (De Macedo et al. 2016). Nedovoljno snabdevanje Ni dovodi do niza promena u biljkama koje se ispoljavaju u vidu hloroza listova, smanjenog rasta, promene u metabolizmu N, smanjenog usvajanja Fe i dr. (Ahmad & Ashraf 2011). Vidljivi simptomi deficita Ni su često slični simptomima nedostatka Fe (intervenalne hloroze na mlađim listovima i tačkaste nekroze), Brown (2007). Nikl u povišenim količinama postaje toksičan za biljke i dovodi do brojnih fizioloških poremećaja među kojima je inhibicija fotosinteze i smanjenje sadržaja hlorofila (Ahmad & Ashraf 2011; De Macedo et al. 2016), međutim takva situacija nije konstatovana u ovom istraživanju.

Olovo (Pb)

Olovo je element koji se u tragovima nalazi u Zemljinoj kori gde je njegov prosečan sadržaj procenjen na 15 mg/kg (Adriano 2001; Kabata Pendias & Pendias 2001). Rezultati dvofaktorske analize varijanse (Tabela 6) pokazali su da na razlike u sadržaju ovog elementa u ispitivanim zemljištima značajan uticaj imaju oba faktora varijabilnosti, pri čemu je uticaj vrste bio dominantan. Slično kao u slučaju Sr, maksimalne količine Pb izmerene su u uzorcima zemljišta iz Beograda, a minimalne u uzorcima iz Pančeva (Tabela 8). Sadržaj ovog elementa bio je iznad prosečnog sadržaja za zemljišta peskovitog i praškasto ilovastog sastava (22 - 28 mg/kg, Kabata Pendias & Pendias 2001), a vrednosti više od MDK u zemljištu saglasno pravilniku Republike

Srbije (100 mg/kg, SG RS 23/94) izmerene su samo u zemljištu na kojem raste javor u Smederevu i Beogradu, pri čemu ni jedna vrednost nije bila iznad graničnih vrednosti propisanih Direktivom saveta Evropske zajednice (50 - 500 mg/kg, Directive 86/278/EEC). Koncentracije Pb iznad graničnih vrednosti za dati tip zemljišta saglasno uredbi Republike Srbije (SG RS 88/2010) takođe su izmerene u zemljištu na kojem raste javor u Smederevu i Beogradu, ali i u zemljištu na kojem raste mleč u Obrenovcu. Povišen sadržaj Pb u ispitivanim zemljištima verovatno je rezultat emisije iz motornih vozila, i prisustva suspendovanih čestica poreklom iz industrije (Imperato et al. 2003; Akan et al. 2013; Zhao 2014). Ovoj tvrdnji idu u prilog podaci o sadržaju suspendovanih čestica i Pb u vazduhu dobijeni od Agencije za zaštitu životne sredine Republike Srbije (Tabela 1), koji ukazuju na nešto višu koncentraciju Pb upravo u Smederevu i Beogradu. Osim toga, razlog za viši sadržaj Pb u ispitivanim uzorcima zemljišta može da bude upotreba olovnog benzina koja je trajala sve do 2010 godine (Ghariani et al. 2010; Pavlović et al. 2018). Ipak vrednosti za Pb bile su niže od istih dobijenih u prethodnim analizama zemljišta na teritoriji Beograda. Ova istraživanja su ukazala na variranja u sadržaju Pb u zavisnosti od pozicije mesta uzorkovanja, pri čemu su najviše koncentracije utvrđene u zonama intenzivnog saobraćaja (Crnković et al. 2006; Gržetić & Ghariani 2008; Andrejić et al. 2015). Rezultati istraživanja zagađenosti zemljišta na teritoriji Beograda (Mladenović et al. 2016) i zemljišta na području Smedereva (Čakmak et al. 2016), ukazuju na povremena prekoračenja sadržaja Pb u ispitivanim zemljištima usled štetnih uticaja iz okruženja. U Smederevu su prekoračenja u sadržaju ovog elementa posebno izražena u površinskom sloju zemljišta, koja su praćena naglim smanjenjem u dubljim slojevima, što kako autori navode ukazuje na antropogeno zagađenje ovim elementom koje se povećava sa smanjenjem distance od železare i deponije (Čakmak et al. 2016). U poređenju sa drugim gradovima u Evropi kao što su London (~ 294 mg/kg, Thornton 1991), Madrid (~ 161 mg/kg, De Miguel et al. 1998), Palermo (~ 202 mg/kg, Manta et al. 2002), Torino (262 - 1380 mg/kg, Madrid et al. 2008), Sevilja (329 - 742 mg/kg, Madrid et al. 2008) i Šopron (~ 124,55 mg/kg, Horváth et al. 2015), sadržaj Pb u ispitivanim zemljištima bio je niži. Rezultati korelacione i PCA analize (Tabele 9 i 10, Slika 7) ukazuju na drugačije poreklo Pb u Beogradu i Obrenovcu u odnosu na Pančevo i Smederevo. U Beogradu, Pb uglavnom potiče iz saobraćaja na šta ukazuje i statistički značajna korelacija sa Cu i Zn. Naime

poznato je da habanje delova motora, kočionih pločica, guma, metalnih delova automobila i sagorevanja goriva dovodi do oslobađanja elemenata u tragovima u atmosferu, među koje spadaju i Zn, Cu i Pb (Van Bohemen & Van de Laak 2003). Antropogeni uticaj takođe je prisutan i na drugim lokalitetima, ali nema statističku značajnost, osim u Obrenovcu gde je očigledan uticaj emisije iz termoelektrane i deponije pepela koji može da sadrži značajne količine potencijalno toksičnih elemenata među koje spada i Pb (Ilander & Väisänen 2007). Na osnovu frakcionog profila može se videti da je Pb u Pančevu uglavnom raspoređeno između reducibilne i rezidualne frakcije, ali u uzorcima sa ostalih lokaliteta dominira reducibilna frakcija (Slika10). Najmanje Pb ekstrahovano je u izmenljivoj i kiselo rastvornoj i oksidabilnoj frakciji. Ovakvo ponašanje Pb u zemljištu je sa jedne strane rezultat njegove adsorpcije sa mineralima gline (Borgese et al. 2013), čiji je udeo u ispitivanim zemljištima bio dovoljan da veže određenu količinu Pb, kao i reakcije sa oksidima Fe i Mn koji su važni skvalendžeri metala u zemljištu, naročito pri $pH > 7$ (Jaradat et al. 2006; Borgese et al. 2013). Dobijeni rezultati ukazuju na nisku do umerenu mobilnost Pb u ispitivanim zemljištima ($MF = 0 - 14,2 \%$), te stoga lako može doći do njegove remobilizacije promenom uslova na staništu, što u slučaju Pb može predstavljati rizik po životnu sredinu (Jaradat et al. 2006). Ovi rezultati su u skladu sa nalazima Ramos et al. (1994) koji su izučavali zagađena zemljišta u Španiji, kao i sa prethodnim studijama u drugim urbanim područjima (Wilcke 1998; Davidson et al. 2006).

Količina Pb koja je dostupna biljkama zavisi od svojstava zemljišta i dodirne površine korena i njegovih eksudata sa česticama zemljišta (Kabata-Pendias & Mukherjee 2007) i obično je neznatna u odnosu na njegovu ukupnu količinu u zemljištu ($0,005 - 0,13 \%$, Davies 1995). Pored toga, usvajanje Pb je pasivan proces zbog čega je stopa njegovog usvajanja iz zemljišta veoma mala, a transport kroz biljku ograničen što dovodi do njegovog nakupljanja u korenu (Kabata-Pendias & Mukherjee 2007). Slaba translokacija Pb iz zemljišta u listove konstantovana je i u ovom istraživanju. Naime, u listovima ispitivanih vrsta, odnosno kod javora i mleča, Pb je bilo moguće detektovati samo tokom juna, kada su njegove koncentracije bile u opsegu vrednosti normalnim za biljke ($5 - 10 \text{ mg/kg}$, Kabata-Pendias & Pendias 2001), Tabela 30. Olovo ne spada u grupu esencijalnih elemenata, tako da nedostatak ovog elementa ne predstavlja problem za biljku, međutim akumulacija visokih odnosno toksičnih koncentracija može dovesti

do poremećaja u funkcionisanju biljaka. Nešto drugačija situacija bila je konstantovana u kori gde je Pb bilo prisutno kod svih vrsta na početku vegetacijske sezone, ali i u manjem ili većem obimu dalje kroz sezonu, ukazujući na njegovu depoziciju iz vazduha. Mitrović (1998) je u listovima mleča, javora i breze u Topčiderskom parku i u parku pored hale Pionir u Beogradu tokom vegetacijske sezone izmerila značajno više koncentracije Pb od istih dobijenih u ovom istraživanju, što je rezultat trenda smanjenja inteziteta zagađivanja poslednjih godina, odnosno manjeg broja aktivnih industrijskih postrojenja u okruženju i prestanak upotrebe olovnog benzina. Uticaj saobraćaja na povišen nivo Pb u listovima *Ligustrum ovalifolium* Hassk. u parku "Stara Zvezdara" utvrdili su u svom istraživanju Gajić et al. (2009).

Stroncijum (Sr)

Stroncijum je relativno čest element u Zemljinoj kori gde se sadržaj kreće od 260 do 730 mg/kg (Kabata-Pendias & Mukherjee 2007). U zemljištu, njegov sadržaj varira u širokom opsegu vrednosti i uslovljen je klimatskim faktorima i prirodom matične stene (Kabata-Pendias & Mukherjee 2007). Rezultati dvofaktorske analize varijansi su pokazali da je na razlike u njegovom sadržaju u ispitivanom zemljištu dominantan uticaj imao lokalitet (Tabela 6), odnosno slično kao kod Pb najviše koncentracije su izmerene u Beogradu, a najniže u Pančevu (Tabela 8). Sadržaj ovog elementa bio je ispod prosečnih vrednosti za zemljišta peskovitog i praškasto ilovastog sastava (87 - 210 mg/kg, Kabata Pendias & Pendias 2001) na svim lokalitetima, osim u Beogradu gde su bile u okviru ovih vrednosti. Evropskim i nacionalnim zakonskim regulativama nisu propisane MDK, granične i background vrednosti za ovaj element u zemljištu (Directive 86/278/EEC; SG RS 23/94, 88/2010; Gawlik & Bidoglio, 2006). Stroncijum u zemljište može dospeti degradacijom njegovih prirodnih minerala kao što su stroncijanit (SrCO_3) i celest (SrSO_4) (West et al. 2001; Moyen & Roblin 2010; Chen et al. 2012b), odlaganjem pepela i industrijskog otpada (ATSDR 2004) ili usled antropogenih aktivnosti kao što je testiranje nuklearnog oružja i nuklearni akcidenti (Stamoulis et al. 1999; Moyen & Roblin 2010; Chen et al. 2012b), a zagađenje ovim elementom uglavnom je rezultat sagorevanja uglja (Kabata-Pendias & Mukherjee 2007). Iako se retko koristi kao čist metal, njegova različita jedinjenja našla su primenu u industriji

stakla i keramike, pirotehničkih materijala, boja i dr. (Kabata-Pendias & Mukherjee 2007; Sasmaz & Sasmaz 2009). U brojnim istraživanjima koja se bave utvrđivanjem sadržaja teških metala u urbanim zemljištima i njihovim uticajem na okolinu, svoje mesto Sr retko pronalazi. Istraživanja su obično fokusirana na njegove isotope (Åberg 2001; Moyon & Roblin 2010; Cheremisina et al. 2017), a posebna pažnja se posvećuje izučavanju radioaktivnog ^{90}Sr jer predstavlja jedan od najopasnijih elemenata za ljude (Kabata-Pendias & Pendias 2001; Sasmaz & Sasmaz 2009). Usled nedostatka odgovarajućih literaturnih podataka nije bilo moguće uporediti sadržaj Sr u ispitivanim zemljištima sa istim u urbanim zemljištima Evrope i sveta. Međutim, istraživanja Kabata-Pendias & Pendias (1999) na preko 4000 uzoraka zemljišta sa teritorije Poljske su pokazala da sadržaj ovog elementa zavisi od teksturnog sastava zemljišta, pri čemu je njegov prosečan sadržaj u peskovitim zemljištima 40 mg/kg, a u ilovastim 80 mg/kg, što je u nivou vrednosti utvrđenih ovim istraživanjem. Analizom podataka dobijenih korelacionom i PCA analizom uočeno je drugačije poreklo Sr u Obrenovcu, Beogradu i na kontrolnim staništima u odnosu na Pančevo i Smederevo. U Pančevu i Smederevu Sr je značajno pozitivno korelisan sa litogenim elementima (Al, Fe, Li), Tabela 9, odnosno sa PC1 (Tabela 10, Slika 7), ukazujući na njihovo zajedničko poreklo. U Obrenovcu i kontrolnom staništu očigledan je uticaj dodatnog faktora koji nije statistički značajan (svojstvena vrednost manja od 1), ali ukazuje da drugačije poreklo Sr na ovom lokalitetu, odnosno verovatno je rezultat sagorevanja velike količine uglja tokom procesa proizvodnje električne energije. U Beogradu, Sr je visoko korelisan sa PC2 za koju su, takođe visoko korelisani Cr i Ni i on verovatno ukazuje na antropogeno poreklo (saobraćaj, individualna ložišta, formiranje parkovskih površina korišćenjem veštačkih materijala i sl.), Tabele 9 i 10. Stroncijum se u odnosu na druge ispitivane elemente izdvaja po velikoj zastupljenosti u izmenljivoj i kiselo rastvornoj frakciji, što ukazuje na veliku mobilnost (MF = 33,68 - 86,42 %) i potencijalnu fitotoksičnost ovog elementa. Značajan njegov udeo je bio vezan za okside Fe i Mn (11,0 - 36,2 %), i primarne minerale zemljišta (4,2 - 40,0 %), dok ga je najmanje bilo u asocijaciji sa organskom materijom i sulfidima (0,5 - 3,8 %), Slika 10. Uobičajeno ponašanje Sr u zemljištu podrazumeva umerenu mobilnost i sorpciju sa mineralima gline i oksidima i hidroksidima Fe (Kabata-Pendias & Mukherjee 2007). Odstupanje od uobičajenog ponašanja i rezultati statističkih analiza ukazuju na prisustvo antropogenog izvora ovog

elementa. Åberg (2001) je u svojim istraživanjima utvrdio visok sadržaj Sr u frakciji lako rastvornoj u vodi (30 - 126 mg/kg) za zemljišta u blizini frekventnih saobraćajnica, što je u saglasnosti sa prikazanim rezultatima. Iako Sr u ispitivanim zemljištima nije bio prisutan u visokim koncentracijama, očigledno da slaba sorpcija i veza sa karbonantima omogućava da ga ispitivane biljke usvajaju u količinama koje su tokom cele vegetacijske sezone bile iznad opsega normalnih vrednosti za biljke (1 - 10 mg/kg, Kabata Pendias & Pendias 2001), odnosno u opsegu toksičnih koncentracija (> 30 mg/kg, Shacklette et al. 1978), Tabela 26. Međutim, ne bi trebalo zaboraviti činjenicu da pored toga što značajan deo Sr u biljku dospeva apsorpcijom iz zemljišta, jedan deo može biti deponovan na površinu lista iz vazduha (Moyen & Roblin 2010), na šta ukazuje i značajna količina Sr deponovana na kori ispitivanih biljaka (Tabela 42).

Stroncijum ne spada u grupu elemenata koji su biljkama neophodni za normalan rast i razvoj, međutim po svojim geohemijskim i biohemijskim odlikama sličan je esencijalnom Ca. Interakcija između njih je složena i iako kompetiraju jedan drugome, Sr ne može da zameni Ca u biohemijskim funkcijama. U zemljištu je pretežno prisutan kao dvovalentni katjon (Sr^{2+}), premda može biti i u obliku helatnog kompleksa. O mehanizmu usvajanja i fiziološkim efektima ovog elementa malo se zna (Moyen & Roblin 2010), a podaci koji su dostupni uglavnom se odnose na usvajanje njegovog radioaktivnog izotopa ^{90}Sr , a ne stabilnog oblika Sr (Sasmaz & Sasmaz 2009). Seregin & Kozhevnikova (2004) smatraju da Sr odlikuje drugačiji mehanizam transporta u odnosu na transport nekih toksičnih elemenata poput Pb, Cd i Ni, a koji je u mnogim aspektima sličan distribuciji Ca. Sličnost sa esencijalnim Ca je možda i ključni razlog za to što ga biljke dobro usvajaju iz zemljišta i lako transportuju u svoje nadzemne delove, gde mu sadržaj varira i obično dostiže maksimum u vršnim delovima biljke (Kabata Pendias & Pendias 2001; ATSDR 2004). Varijabilan sadržaj Sr utvrđen je i u ovom istraživanju, gde su najviše, toksične vrednosti izmerene u drugom delu sezone. Pored sezone uočena je i prostorna pravilnost, odnosno najviše koncentracije u listovima mleča i breze izmerene su u Beogradu, odnosno u Smederevu i Beogradu za javor i bile su značajno više u odnosu na druge lokalitete. Ovakvi rezultati su u velikoj meri u skladu sa nalazima Piczak et al. (2003), koji su utvrdili povećanje sadržaja Sr u listovima mleča i breze tokom vegetacijske sezone, naglašavajući da na promene sadržaja ovog elementa u listovima ispitivanih vrsta uticaj imaju svi faktori

varijabilnosti (sezona, lokalitet i vrsta). Pretpostavlja se da kada je prisutan u povišenim koncentracijama može potencijalni rizik za funkcionisanje biljaka. Chen et al. (2012b) su istraživanjem efekata Sr utvrdili da akumulacija Sr u listovima izaziva poremećaje u procesu fotosinteze na nivou asimilacije ugljenika, apsorpcije energije i transfera elektrona. Naši rezultati ukazuju na mogući uticaj Sr na smanjenje efikasnosti fotosinteze, naročito na kod vrsta kod kojih je njegov sadržaj bio najveći. Međutim, javor karakteriše nešto drugačije ponašanje koje je verovatno rezultat sinergističkog delovanja više faktora i nije ga moguće jednostavno objasniti. Ovim tvrdnjama idu u prilog rezultati korelacione analize (Strane 140-142) koji su pokazali da kada je Sr prisutan u veoma visokim koncentracijama ima negativan uticaj na parameter efikasnosti fotosinteze (F_v/F_m - Sr: -0,995** kod mleča u Beogradu), pri čemu njegove niže koncentracije ne utiču nepovoljno na efikasnost fotosinteze (F_v/F_m - Sr: 0,912* kod mleča u Pančevu; F_v/F_m - Sr: 0,977** kod javora u Beogradu; F_v/F_m - Sr: 0,965** kod breze u Beogradu). Treba imati u vidu da su ovo samo preliminarni zaključci a ovaj fenomen zahteva dalje istraživanje, međutim u ovom trenutku su u dobroj saglasnosti sa ograničenim i često kontradiktornim literaturnim podacima. Jedan od takvih primera su istraživanja Moyon & Roblin (2010) i Chen et al. (2012b), koji su u sličnim eksperimentalnim uslovima na različitim biljnim vrstama dobili suprotne rezultate, ukazujući da osetljivost biljaka na toksičnost ovog elementa zavisi od njegove koncentracije, vremena izloženosti, starosti i vrste biljke i dr.

Upoređujući sadržaj Sr u listovima i kori ispitivanih vrsta biljaka konstantovano je da se u kori mleča i javora akumuliraju značajno veće količine Sr u odnosu na listove, dok je kod breze situacija obrnuta (Tabele 26 i 43). Kao što je već pomenuto, ovako ponašanje breze uslovljeno je drugačijom strukturom njene kore koja u odnosu na koru javora i mleča tanja i manje hrapava, što direktno utiče na zadržavanje polutanata iz vazduha na njenoj površini uključujući i lakše spiranje padavinama. Sličan potencijal za akumulaciju tkiva breze utvrdili su i Reimann et al. (2007). Iako nije moguće izdvojiti jednu vrstu kao potencijalno dobar ili loš akumulator Sr, posebno ako imamo u vidu da pored vrste i lokalitet ima veliki uticaj na njegov sadržaj u listovima ispitivanih vrsta, određena pravilnost je ipak ustanovljena. Uopšteno govoreći, u Pančevu (BCF = 1,566) i Smederevu (BCF = 1,354) javor je karakterisao najveći kapacitet usvajanja Sr, a u Obrenovcu (BCF = 1,212), Beogradu (BCF = 1,217), i kontroli (BCF = 1,808) je to bio

mleč. Ipak, viši BCF za Sr u odnosu na druge ispitivane elemente verovatno je rezultat depozicije iz vazduha, pre nego usvajanje iz zemljišta, što potvrđuje i visok BCF Sr za koru (Tabela 47). Naša prethodna istraživanja na brezi su pokazala da hemija zemljišta slabo objašnjava varijabilnost elemenata u kori, ukazujući da na sadržaj elemenata u kori pored zemljišta imaju i drugi faktori npr. atmosferska depozicija (Pavlović et al. 2017a).

Cink (Zn)

Cink predstavlja dvadeset četvrti najzastupljeniji element u Zemljinoj kori gde je njegov sadržaj procenjen na oko 70 mg/kg (Adriano 2001). U zemljištu sadržaj ovog elementa se kreće u intervalu od 10 do 300 mg/kg i uslovljen je prirodom matične stene, sadržajem organske materije, teksturom zemljišta i pH (Adriano 2001; Kabata-Pendias & Mukherjee 2007). Rezultati dvofaktorske analize varijansi pokazali su da je na promene u sadržaju Zn dominantan uticaj imao lokalitet (Tabela 6), pri čemu su najviše koncentracije izmerene u Beogradu i Smederevu, a najniže u Obrenovcu (Tabela 8). Koncentracije Zn u ispitivanim zemljištima kretale su se u širokom opsegu vrednosti i uglavnom su bile više od prosečnih vrednosti za zemljišta peskovitog i praškasto - ilovastog sastava (45 - 60 mg/kg Kabata-Pendias & Pendias 2001), ali nisu prelazile MDK i granične vrednosti u zemljištu propisane Evropskim i nacionalnim zakonskim regulativama (300 mg/kg, SG RS 23/94; 50 - 300 mg/kg, Directive 86/278/EEC). Nešto viši sadržaj Zn odlikovao je zemljišta Smedereva i Beograda (Tabela 8), gde je njegov sadržaj u zemljištu na kojem rastu mleč i javor u Smederevu, odnosno javor i breza u Beogradu bio iznad graničnih vrednosti za dati tip zemljišta (SG RS 88/2010). Povišene koncentracije u Beogradu se mogu dovesti u vezu sa saobraćajem imajući u vidu da tokom procesa sagorevanja goriva i maziva u motorima sa unutrašnjim sagorevanjem, kao i trenjem guma o kolovoz može doći do oslobađanja Zn u životnu sredinu (Van Bohemen & Janssen Van de Laak 2003; Akan et al. 2013). U Smederevu, pored saobraćaja, dominantni izvor zagađenja potiče iz suspendovanih čestica oslobođenih tokom proizvodnje čelika, što je u skladu sa nalazima Dragović et al. (2014). Uticaj saobraćaja i blizine železere na sadržaj Zn u zemljištu konstatovan je od strane drugih istraživača. Mladenović et al. (2016) su kroz analizu zagađenosti zemljišta u određenim

zonama u Beogradu uočili česta prekoračenja sadržaja Zn u odnosu na propisane granične vrednosti za dati tip zemljišta (SG RS 88/2010), pri čemu su odstupanja najčešće bila u zemljištima javnih komunalnih površina i u blizini prometnih saobraćajnica. Čakmak et al. (2016) su u zemljištima Smedereva utvrdili prosečan sadržaj Zn od 126,8 mg/kg, što je u skladu sa našim rezultatima (Tabela 8). Oni smatraju da postoji antropogeni uticaj koji dovodi do povišenog sadržaja ovog elementa, ali ne do nivoa da se takva zemljišta smatraju zagađenim. Iako viši sadržaj Zn u uzorcima zemljišta iz Beograda, on je u nivou ranije izmerenih u zemljištima parkova i zelenih površina na teritoriji Beograda koji su iznosili 118 mg/kg (Crnković et al. 2006), 268 mg/kg (Gržetić & Ghariani 2008), 174 mg/kg (Marjanović et al. 2009), 121 mg/kg (Kuzmanoski et al. 2014) i 169 mg/kg (Andrejić et al. 2016). Sadržaj Zn u ispitivanim zemljištima bio je nešto ispod ili u nivou vrednosti koje su utvrđene u zemljištu gradova kao što su Madrid (~ 210 mg/kg; De Miguel et al. 1996) i Torino (~ 183 mg/kg Biasioli et al. 2006). Razmatranjem rezultata dobijenih korelacionom i PCA analizom (Tabele 9 i 10, Slika 7) uočeno je prisustvo dodatnog faktora koji nema odgovarajuću statističku značajnost (svojstvena vrednost < 1), ali pomaže u razumevanju porekla Zn na ispitivanim lokalitetima. U Obrenovcu poreklo Zn se vezuje za emisiju iz termoelektrane i deponije pepela s obzirom da leteći pepeo, zavisno od tipa supstrata čijim sagorevanjem nastaje, može da sadrži između 27 i 2880 mg/kg Zn (Adriano 2001). Na ostalim lokalitetima, poreklo Zn dovodi se u vezu sa različitim antropogenim izvorima kao što su sagorevanje fosilnih goriva (Meuser 2010; Andrejić et al. 2016), saobraćaj (Van Bohemen & Janssen Van de Laak 2003; Han et al. 2006) i industrija (Han et al. 2006). Rezultati sekvencijalne ekstrakcije potvrđuju drugačije poreklo Zn u Smederevu i Beogradu, s obzirom da je na ovim lokalitetima najveći deo Zn oslobođen u prve tri faze ekstrakcije, a samo mali deo je bio prisutan u rezidualnoj frakciji (Slika 10). Ovakva distribucija, ukazuje na potencijalnu dostupnost jednog dela Zn biljkama koji zbog svoje velike mobilnosti (MF = 1,87 - 29,45 %) i bioraspoloživosti može predstavljati potencijalni rizik za životnu sredinu (Jiang et al. 2013). Uzorke zemljišta iz Pančeva, Obrenovca i kontrolnog staništa odlikuje drugačija raspodela, odnosno najviše Zn bilo je povezano sa rezidualnom frakcijom, ukazujući na njegovo pretežno litogeno poreklo i nemogućnost mobilizacije. Ostatak Zn bio je vezan za okside Fe i Mn (21,3 - 33,1 %) i asociran za organsku materiju i sulfide (6,0 - 14,8

%), a samo mali deo je činila izmenjiva i kiselo rastvorna frakcija (1,9 - 7,1 %), Slika 10. Slično ponašanje Zn u urbanim zemljištima opisali su i drugi istraživači (Lu et al. 2007; Yutong et al. 2016). Primenjujući nešto drugačiju ekstrakcionu proceduru, Ghariani et al. (2010) su u uzorcima zemljišta oko velikih gradskih saobraćajnica u Beogradu, utvrdili značajan udeo Zn asociran za karbonate i okside Mn (50,84 %) i okside Fe (15,78 %), dok je manji deo izmenjiv (7,49 %), vezan za sulfide i organsku materiju (2,60 %) i rezidualnu frakciju (23,30 %). Autori smatraju da je razlog za ovakvo ponašanje Zn mali sadržaj organske materije zbog čega je Zn pretežno vezan za neorgansku i rastvornu organsku frakciju zemljišta. Uočeni frakcioni profil Zn u Pančevu, Obrenovcu i kontrolnom staništu u skladu je sa nalazima Wilcke et al. (1998) i Imperato et al. (2003), pri čemu su Li et al. (2001) ukazali na dominantan udeo Zn u reducibilnoj frakciji što odgovara njegovoj raspodeli u Smederevu i Beogradu, ukazujući na važnost oksida Fe i Mn za akumulaciju ovog elementa kao i na heterogenost urbanih zemljišta. Značaj oksida Mn za vezivanje Zn potvrđen je i njihovom sličnom raspodelom tokom frakcionisanja ispitivanih zemljišta. Na osnovu svega gore navedenog, jasno je prisustvo antropogenog izvora ovog elementa koje je najviše izraženo u Smederevu i Beogradu.

Cink je posle Fe, drugi po važnosti esencijalni element gde kao integralna komponenta brojnih enzima (dehidrogenaze, proteinaze, peptidase i dr.) učestvuje u metabolizmu proteina, ugljenih hidrata, fosfata, formiranju ribozoma, regulaciji sinteze auksina. Takođe utiče na propustljivost membrana i stabilizaciju ćelijskih komponenata (Kabata-Pendias & Mukherjee 2007; Storey 2007; Mousavi et al. 2012; Mattiello et al. 2015), a poseban značaj ima u hloroplastima, odnosno enzimima uključenim u proces fotosinteze (Cakmak 2000). Specijacija Zn u zemljišnom rastvoru zavisi od pH reakcije zemljišta, odnosno pri $\text{pH} < 7,5$ dominira dvovalentni katjon Zn^{2+} , dok iznad ovog pH počinje da preovlađuje jednovalentni katjon ZnOH^+ (Adriano 2001), pri čemu je njihova koncentracija veoma niska usled snažne adsorpcije za čestice zemljišta (Marschner 1993). Mehanizam njegovog transporta kroz biljku nije do kraja razjašnjen i postoje brojni podaci koji govore u prilog svakoj od teorija (Kabata Pendias & Pendias 2001). Bez obzira na mehanizam, usvajanje je uslovljeno količinom dostupnog Zn u zemljišnom rastvoru, odakle ga biljka usvaja bilo kao Zn^{2+} ili hidratisan oblik, premda ga može usvajati i u formi kompleksa i organskih helata (Kabata Pendias & Pendias

2001; Storey 2007). Međutim, uprkos sposobnosti biljaka da Zn usvajaju u različitim oblicima, izgleda da su visok pH i različite individualne osobine ispitivanih vrsta drveća usloveli da ga mlač i javor usvajaju u količinama koje su gotovo tokom cele vegetacijske sezone bile u opsegu deficita (10 - 20 mg/kg, Kabata Pendias & Pendias 2001) ili ispod opsega koji se smatra dovoljnim za normalno funkcionisanje biljaka (27 - 150 mg/kg, Kabata Pendias & Pendias 2001). Ovakvi uslovi nisu predstavljali limitirajući faktor za brezu čije listove je tokom cele vegetacijske sezone karakterisao sadržaj Zn u opsegu normalnih vrednosti (27 - 150 mg/kg, Kabata Pendias & Pendias 2001), osim u Beogradu gde je njegov sadržaj dostigao toksičan nivo (100 - 400 mg/kg, Kabata Pendias & Pendias 2001), Tabela 28. Dodatni razlog za slabo usvajanje Zn bi mogao da bude visok sadržaj Fe u zemljištu s obzirom da kompetiraju jedan drugom prilikom usvajanja iz zemljišta u koren ili tokom formiranja helatnih kompleksa pri translokaciji iz korena u više delove biljke (Kabata Pendias & Pendias 2001). Deficit Zn najčešće se ispoljava u intravenalnih hloroza svetlo zelene do svetlo žute boje i marginalnih nekroza smeđe do ljubičaste boje (Mattiello et al. 2015), pri čemu u ovom istraživanju uočene morfološke promene na listovima ispitivanih biljaka više odgovaraju simptomima toksičnosti B i/ili deficita Cu. Međutim ne sme se zanemariti uticaj drugih stresnih faktora, tako da vidljivi simptomi najverovatnije predstavljaju rezultat delovanja multipnih faktora stresa kao što su: toksičan sadržaj B, deficit Cu, Mn i Zn, suše i ekstremno visoke temperature. Nedovoljna količina Zn u tkivima biljaka dovodi do smanjenja aktivnosti ili inhibicije enzima uključenih u proces fotosinteze, što se može manifestovati kroz smanjenje vrednosti parametra efikasnosti fotosinteze Fv/Fm (Mattiello et al. 2015). Takođe nedostatak Zn utiče na fotosintezu zbog promene u količini pigmenata hloroplasta (Kösesakal & Ünal 2009; Samreen et al. 2017). Verujemo da je deficit Zn kod mlača i javora, odnosno njegova dovoljna količina kod breze bio ključan razlog za najbolju efikasnost fotosinteze upravo kod breza (Tabela 50), gde ni njegov toksičan sadržaj u Beogradu nije ozbiljnije uticao na njeno funkcionisanje. U prilog ovoj tvrdnji ide značajna negativna korelacija parametra Fv/Fm i Zn (-0,924*) kod mlača u Smederevu i visoka pozitivna korelacija Fv/Fm i Zn (0,981**) kod breze u Beogradu. Deficit Zn može da se odrazi i na sadržaj fotosintetskih pigmenata. U svojim istraživanjima na pirinču (*Oriza sativa* L.), Wenrong et al. (2008) su uočili značajno smanjenje sadržaja hlorofila u uslovima deficita Zn, dok

su Kösesakal & Ünal (2009) u eksperimentima na paradajzu (*Lycopersicon esculentum* Mill.) uočili blagi porast sadržaja karotenoida i Chl b i pad Chl a, pri čemu je sadržaj ukupnih hlorofila ostao nepromenjen u odnosu na kontrolnu biljku. Međutim, rezultati za fotosintetske pigmente prikazani u ovom radu nisu pokazali ovakav trend, naime sadržaj Chl a, Chl b, Chl a+b, Tot Carot kod breze uglavnom je bio niži nego kod mleča i javora koji rastu na istim lokalitetima. Ovakav rezultat ulazuje da deficit Zn nije značajno uticao na vitalnost mleča i javora.

Upoređujući sadržaj Zn u listovima i kori, bez sumnje možemo reći da je tokom cele vegetacijske sezone u kori svih ispitivanih vrsta biljaka akumulirana veća količina ovog elementa u odnosu na listove (Tabele 28 i 44). Izuzetak je predstavljala kora mleča na svim lokalitetima u junu, i kora breze iz Beograda tokom cele sezone. Razlog za ovako ponašanje ispitivanih vrsta bi mogla da bude atmosferska depozicija Zn, koju kako smo već pomenuli uglavnom dovodimo u vezu sa saobraćajem. Abrazija i habanje automobilskih guma čest je izvor zagađujućih materija, a među njima i Zn, s obzirom da se Zn primenjuje kao katalizator u procesu proizvodnje guma, a aditivi koji sadrže Zn se često koriste u proizvodnji pneumatika i motornih ulja (Van Bohemen & Janssen Van de Laak 2003). Listove ispitivanih biljaka karakterisala je pravilnost u sezonskoj akumulaciji Zn, odnosno najviše koncentracije su izmerene u avgustu i oktobru (Tabela 28). Ovi rezultati su u saglasnosti sa nalazima Piczak et al. (2003). Scheffer et al. (1978, 1979) su utvrdili da najveća količina Zn odlikuje zrela tkiva ili tkiva u fazi intenzivnog rasta što objašnjava sezonsko variranje. Upoređujući ispitivane vrste možemo da primetimo da je brezu odlikovala najveća sposobnost za usvajanje Zn, pri čemu ni jedna od njih ne predstavlja njen akumulator ($BCF < 1$), Tabela 47. BCF veći od jedan ($BCF > 1$) za listove breze u Beogradu i kore na svim lokalitetima osim u Beogradu upućuje na atmosfersku depoziciju ovog elementa. Veća sposobnost breze za usvajanje Zn u odnosu na mleč opisana je i od strane brojnih drugih autora (Piczak et al. 2002; Tomašević et al. 2011; Petrova et al. 2014; Kosiorek et al. 2016). Mitrović (1998) je takođe pokazala da se breza izdvaja po najvećem sadržaju Zn u odnosu na mleč, javor, hrast, crni bor i ginko, što je u skladu sa našim rezultatima i nalazima Ernst (1993).

6.1.4. Razlike između vrsta utvrđene na osnovu sadržaja potencijalno toksičnih elemenata i fizioloških parametara

Rezultati dobijeni diskriminantnom analizom (DA) prikazani su u poglavljima 5.2.2.1. i 5.3.1.2.

Rezultati diskriminantne analize pokazali su koji je od ispitivanih hemijskih (Al, B, Cu, Fe, Mn, Sr i Zn) i bioloških parametara (Fv/Fm, Chl a, Chl b, Tot Carot) čiji je sadržaj analiziran u listovima i kori tri drvenaste vrste na izabranim lokalitetima, najviše uticao na razlikovanje biljnih vrsta na svakom od lokaliteta.

U Pančevu, ispitivane vrste su se najviše razlikovale na osnovu sadržaja Chl a i Zn u listovima (Slike 14 1a i 14 1b), odnosno na osnovu sadržaja Sr, Zn i Al u kori (Slike 12 1a i 12 1b). Brezu na ovom lokalitetu odlikuje najviši sadržaj Zn u listovima i kori, u opsegu normalnih koncentracija, dok je kod mleča i javora bio u opsegu deficita. Najviši sadržaj Chl a odlikovao je mleč, ukazujući na njegovu vitalnost na ovom lokalitetu. Najviši sadržaj deponovanog Sr na kori javora i Al na kori mleča najviše je doprineo razlikovanju ovih vrsta kako jedne u odnosu na drugu, tako i u odnosu na brezu.

U Smederevu je takođe postignuto dobro razdvajanje ispitivanih vrsta, pri čemu je na razdvajanje najveći uticaj imao sadržaj B, Cu, Chl a i Sr u listovima (Slike 14 2a i 14 2b), odnosno Sr i Fe u kori (Slike 12 2a i 12 2b). Na ovom lokalitetu brezu je odlikovao najviši, odnosno toksičan sadržaj B (50 - 200 mg/kg, Kabata Pendias & Pendias 2001), koji je najviše doprineo razlikovanju breze od javora i mleča. Iako toksičan i visok sadržaj B i u listovima javora, na njegovo razdvajanje od breze u Smederevu dominantan uticaj je imao Sr i visok sadržaj Chl a, ukazujući da uprkos toksičnom sadržaju B i Sr javor u Smederevu odlikuje dobra vitalnost. Na razdvajanje mleča najveći uticaj je imao optimalan sadržaj Cu (5 - 30 mg/kg, Kabata Pendias & Pendias 2001), čiji sadržaj kod druge dve vrste bio ispod tog opsega ili čak u deficitu.

U Obrenovcu, na razlikovanje vrsta najveći uticaj su imali Zn, B i Sr u listovima (Slike 14 3a i 14 3b) i B i Al u kori (Slike 12 3a i 12 3b). Razdvajanje vrsta na ovom lokalitetu je bolje na osnovu parametara lista. Brezu na ovom lokalitetu, slično kao u Pančevu, odlikuje visok sadržaj Zn u listovima i kori, koji je bio u normalnom opsegu koncentracija (27 - 150 mg/kg, Kabata Pendias & Pendias 2001), dok je kod mleča i

javora bio u deficitu. Mleč se na ovom lokalitetu izdvaja po najvećem sadržaju Sr u listovima i Al i B u kori.

U Beogradu, najveći uticaj na razlikovanje vrsta imali su Fe, Sr i B u listu (Slike 14 4a i 14 4b) i Al, Mn i Cu u kori (Slike 12 4a i 12 4b). Javor se na ovom lokalitetu izdvaja po najvećem sadržaju Fe, a mleč po najvećem sadržaju Sr u listovima. Bakar i Al su najvažniji parametri kore koji utiču na razlikovanje vrsta, odnosno najmanje akumuliranog Cu u kori breze najviše je doprinelo njegovom razlikovanju od mleča i javora, dok je najviše deponovanog Al na kori javora uticalo na njegovo razlikovanje od mleča.

Na kontrolnom lokalitetu, na razdvajanje vrsta najviše su uticali Sr i Fe u listovima (Slike 14 5a i 14 5b) i Mn i Sr u kori (Slike 12 5a i 12 5b). Brezu na ovom lokalitetu odlikovao je nizak sadržaj Sr u listovima i kori, što je doprinelo njenom razlikovanju od mleča i javora. Javor je karakterisala velika količina Fe u listovima i Mn i Sr u kori.

Generalno je DA pokazala da se na osnovu sadržaja hemijskih elemenata u listovima i kori i na osnovu parametra efikasnosti fotosinteze i fotosintetskih pigmenata ispitivane vrste drveća razliku jedna od druge, ali da na razlike u njihovom ponašanju lokalitet takođe ima uticaj. Generalno, možemo da kažemo da se mleč u Pančevu izdvaja po dobroj vitalnosti, odnosno visokom sadržaju Chl a, u Smederevu po normalnom sadržaju Cu, a u Obrenovcu po najvećem sadržaju Sr u listovima, odnosno Al i B na kori. Javor se u Smederevu izdvaja po najvišem sadržaju Sr i Chl a, u Obrenovcu po najvišem sadržaju Fe u listovima i Al na kori i na kontroli takođe po visokom sadržaju Fe na listovima i Mn i Sr na kori. Breza se u Pančevu i Obrenovcu izdvaja po najvišem i normalnom sadržaju Zn, u Smederevu po najvišem sadržaju B, a u Beogradu po minimalnom sadržaju Cu.

6.1.5. Razlike između lokaliteta utvrđene na osnovu sadržaja potencijalno toksičnih elemenata i fizioloških parametara ispitivanih vrsta biljaka

Rezultati dobijeni diskriminantnom analizom (DA) prikazani su u poglavljima 5.2.2.2. i 5.3.1.3.

Rezultati diskriminantne analize pokazali su koji je od ispitivanih hemijskih (Al, B, Cu, Fe, Mn, Sr i Zn) i bioloških parametara (Fv/Fm, Chl a, Chl b, Tot Carot) čiji je sadržaj

analiziran u listovima i kori tri drvenaste vrste na izabranim lokalitetima, najviše uticao na razlike između vrsta odnosno na razlike na nivou lokaliteta.

Kod mleča najveći uticaj na razlike između lokaliteta imali su Sr i Chl a u listovima (Slike 15 1a i 15 1b), odnosno Al i Fe u kori (Slike 13 1a i 13 1b). Beograd se izdvaja od ostalih lokaliteta po najvišem i toksičnom sadržaju Sr u listovima mleča, a Obrenovac i Pančevo po najvišem sadržaju Chl a. Ovi podaci ukazuju na moguće prisustvo antropogenog izvora Sr u Beogradu, odnosno na vitalnost mleča u Pančevu i Obrenovcu. Na osnovu parametara kore, najviše deponovanog Al u Obrenovcu i Fe u Smederevu doprinelo je razdvajanju ova dva lokaliteta kako međusobno tako i u odnosu na ostala tri, ukazujući na efekat atmosferske depozicije koja je u Obrenovcu izražena usled uticaja emisije iz termoelektrane i disperziju čestica pepela sa deponije pepela, a u Smederevu iz železare.

Kod javora, najveći uticaj na razdvajanje lokaliteta imali su sadržaj Fe i Sr u listovima (Slike 15 2a i 15 2b) i Mn, Zn i Sr u kori (Slike 13 2a i 13 2b). Bolje razdvajanje lokaliteta postignuto je na osnovu parametara koji su se odnosili na listove, odnosno Beograd se izdvaja po najvišem sadržaju Fe u listovima javora, a Smederevo po toksičnom sadržaju Sr. Toksičan sadržaj Sr ($> 30 \text{ mg/kg}$, Shacklette et al. 1978) odlikovao je listove javora na svim lokalitetima, ali je njegov uticaj bio dominantan u Smederevu i nešto slabiji u Beogradu, ukazujući na mogući antropogeni izvor Sr. Na osnovu parametara kore, razdvajanje lokaliteta je manje izraženo, pri čemu najveći uticaj na razdvajanje imaju Mn, Zn i Sr koji su se u najvećem sadržaju akumulirali u kori javora u Beogradu, ukazujući na prisustvo lokalnih antropogenih aktivnosti.

Kod breze na razdvajanje lokaliteta najveći uticaj su imali Fe i Zn u listovima (Slike 15 3a i 15 3b), odnosno Zn, Sr i Cu na kori (Slike 13 3a i 13 3b). Slično kao kod javora i kod breze je bolje razdvajanje postignuto na osnovu parametara lista. Na razlikovanje Smedereva od ostalih lokaliteta najviše je uticalo Fe čiji je sadržaj bio najveći na ovom lokalitetu, ukazujući na poreklo ovog elementa iz železare. Drugi element koji utiče na razdvajanje je Zn koji je u najvišim i toksičnim koncentracijama odlikovao brezu u Beogradu i tako uticao na razdvajanje ovog lokaliteta u odnosu na Smederevo, ali i u odnosu Pančevo, Obrenovac i kontrolu. Povišen i toksičan sadržaj ovog elementa kod breze, u odnosu na njegov deficitarn sadržaj kod mleča i javora je verovatno rezultat lokalnog zagađenja iz saobraćaja i već ranije utvrđenog potencijala

ove vrste za akumulaciju ovog elementa. Na osnovu parametara kore lokaliteti se manje razlikuju, odnosno Smederevo, Obrenovac i kontrolni lokalitet se podudaraju, dok su Pančevo i Beograd jasno razdvojeni i na njihovo razdvajanje najveći uticaj ima visok sadržaj Zn u Pančevu i Sr u Beogradu. Visok sadržaj Zn karakterisao je koru breze i na drugim lokalitetima, što je specifično za vrstu.

Generalno, rezultati DA su pokazali da najveći uticaj na razdvajanje lokaliteta imaju lokalni izvori zagađenja koji su doveli do izdvajanja Smedereva (Fe, Sr) i Beograda (Sr, Zn, Fe, Mn) u odnosu na Pančevo, Obrenovac i kontrolu, ukazujući da su biljke na ovim lokalitetima izložene stresu zagađivanja. Obrenovac se takođe izdvaja (Al), ali je uticaj uslovljen drugačijim poreklom polutanata, dok su Pančevo i kontrola oslobođeni zagađenja.

6.1.6. Stanje struktura periferijskih zaštita listova ispitivanih biljaka i karakteristike čestica deponovanih na njihovoj površini

Rezultati stanja struktura periferijskih zaštita listova ispitivanih biljaka i karakteristike čestica deponovanih na njihovoj površini su prikazani u poglavlju 5.3.3.

Zagađenje vazduha suspendovanim česticama iz stacionarnih i mobilnih izvora predstavlja ozbiljan problem u urbanim sredinama (WHO 2005; Deljanin et al. 2016), gde njihov glavni izvor predstavlja saobraćaj. Pored saobraćaja, značajan izvor atmosferskih čestica prašine u urbanoj sredini su industrijska postrojenja uključujući termoelektrane, saobraćaj, individualna ložišta, komunalni otpad i svi drugi procesi u kojima dolazi do sagorevanja fosilnih goriva na visokim temperaturama. Suspendovane čestice ni u fizičkom ni u hemijskom pogledu nisu homogene te je stoga pored informacije o njihovoj količini neophodno poznavati njihove fizičke osobine i hemijski sastav (Grantz et al. 2003). Vegetacija u urbanim sredinama ima važnu ulogu u uklanjanju suspendovanih čestica iz atmosfere, umanjujući tako štetne efekte koje one mogu imati na ljude (Nowak et al. 2006; Sawidis et al. 2011; Sæbø et al. 2012; Deljanin et al. 2016). Zagađujuće materije emitovane u atmosferu deponuju se na površinu biljke suvom i vlažnom depozicijom, pri čemu je efikasnost njihovog zadržavanja uslovljena specifičnim morfološkim i anatomskim karakteristikama lista (hrapavost, kržljivost, prisustvo trihoma, epikutilarni voskova i sl.), veličinom čestice, klimatskim uslovima (temperatura, vlažnost vazduha, pravac i brzina vetra, padavine) i hemijskim osobinama

elementa (Mitrović 1998; Sawidis et al. 2011; Popek et al. 2013; Gajić 2014; Simon et al. 2014; Sæbø et al. 2015; Deljanin et al. 2016). Drveće je efikasno u uklanjanju polutanata iz atmosfere i u tom procesu dominantnu ulogu imaju lišćarske vrste koje odlikuju složeni, krupni i hrapavi listovi (Bargagli 1998; Mitrović 1998; Hwang et al. 2011). Prisustvo trihoma umnogome doprinosi zadržavanju čestica na površini lista, dok strujanje vazduha utiče na količinu i trajanje zadržavanja deponovanih čestica, a padavine prethodno deponovane čestice spiraju i/ili rastvaraju odakle one dospevaju u zemljište (Sawidis et al. 2011; Popek et al. 2013; Sæbø et al. 2015; Deljanin et al. 2016). Listovi predstavljaju aktivne i pasivne akumulatore zagađujućih materija. Oni putem stoma mogu aktivno usvajati gasovite polutante (Kardel et al. 2010; Morani et al. 2011; Simon et al. 2014), a različite zagađujuće materije se mogu pasivno taložiti na njihovoj površini (Hwang et al. 2011; Simon et al. 2014) a oba procesa utiču na funkcionisanje biljaka. Čestice se mogu nagomilavati u blizini stoma dovodeći do disbalansa u prometu gasova, što za rezultat ima narušavanje vodnog balansa i efikasnosti fotosinteze. Depozicija atmosferskih čestica na površine listova može da inhibira normalno odvijanje procesa transpiracije i fotosinteze. Deponovane čestice tamne boje se ponašaju kao crno telo apsorbujući ekstremno velike količine toplote, što povećava temperaturu na površini listova, posebno u letnjem periodu. Pregrevanje listova dovodi do prekomernog isušivanja listova i smanjivanja aktivnosti fotosinteze (Gupta et al. 2002). Nepovoljni efekti su još veći zato što se deponovane čestice zadržavaju na nadzemnim delovima biljaka tokom cele vegetacijske sezone, kada su biljke fiziološki najaktivnije, to je period kada rastu, cvetaju i plodonose. Naša ranija ekofiziološka ispitivanja su pokazala da dugotrajna depozicija čestica izaziva oštećenja struktura periferijskih zaštita pre svega kutikule i epidermisa, smanjujući njihovu ulogu u transpiraciji i asimilaciji ali i zaštiti listova od isušivanja, UV radijacije i različitih tipova fizičkih, hemijskih i mikrobioloških agenasa (Mitrović 1998; Tomašević et al. 2002; Tomašević et al. 2005; Pavlović & Mitrović 2013; Pinto et al. 2014; Kroukamp et al. 2016; Radojević 2017).

Analiza stanja struktura periferijskih zaštita je pokazala da listove mleča karakterišu vidljiva oštećenja kutikule, i depozicija čestica duž lisnih nerava pri čemu je veći broj čestica i agregata uočen u uzorcima iz oktobra iz Obrenovca i Beograda (Slike 19 i 20). Mitrović et al. (2006) su SEM analizom površinskih struktura listova mleča

(*Acer platanoides* L.) iz urbanih parkova u Beogradu takođe utvrdili oštećenja kutikule i stoma. Kod javora, uočena je nešto drugačija distribucija čestica u odnosu na mlec, koje su deponovane po celoj površini lista i u manjem broju u odnosu na mlec, izuzev u Beogradu. Prisustvo većeg broja čestica uključujući i krupne agregate je bilo najizraženije u Obrenovcu, iako ih je bilo moguće uočiti i na drugim lokalitetima (Slike 21 i 22). Razlog za razlike u karaktersitikama atmosferske depozicije između mleča i javora leži u različitoj morfologiji njihovih listova. Naime, listovi mleča su glatki, sa ravnom i tankom kutikulom pogodnom za spiranje čestica padavinama za razliku od javora koji ima krupne ćelije epidermisa prekriveni debelom talasastom kutikulom pogodnom za zadržavanje čestica. U svakom slučaju, depozicija suspendovanih čestica na površinu lista je dinamičan proces, podložen sezonskim promenama (Deljanin et al. 2016). Listove breze je tokom cele sezone odlikovala značajno veća količina deponovanih čestica atmosferske prašine u odnosu na mlec i javor. Na listovima su zapaženi agregate različite veličine biogenog i abiogenog porekla (Slike 23 i 24). Razlike u morfološkim karakteristikama listova kod različitih drvenastih vrsta i shodno tome i u karakteru atmosferske depozicije su proučavane kod kestena (*Aesculus hippocastanum*), lipe (*Tilia* spp), mleča (*Acer platanoides*) i breze (*Betula pendula*), i utvđena je manja depozicija mikroelemenata kod mleča u odnosu na kesten i lipu koji imaju krupne i dlakave listove (Deljanin et al. 2016). Autori su takođe uočili neujednačenu raspodelu čestica na površini listova koje su bile više zastupljene u zonama lisnih nerava kao i njihovu veću zastupljenost na licu lista. Sæbø et al. (2012) su analizirali akumulaciju čestica atmosferske prašine na listovima više od 40 različitih drvenastih i žbunastih vrsta u Poljskoj, i ustanovili su da najviši nivo akumulacije čestica na površini i u sloju kutikularnih voskova ima *B. pendula*, potom *Tilia cordata* i *A. platanoides* i najmanje *A. hippocastanum*. Istraživanja Tomašević et al. (2005) na *A. hippocastanum* i *Corulys colurna*, takođe ukazuju na nehomogenu distribuciju čestica različite veličine na površini listova, pri čemu je akumulacija efikasnija na licu nego na naličju lista što je sve u saglasnosti sa našim rezultatima.

Rezultati EDS analize hemijskog sastava pojedinačnih atmosferskih čestica na površini listova biljaka su pokazali da su najzastupljeniji elementi u česticama C, O, Si i Al. Ostali elementi u česticama, kao što su Ca, K, Fe, Mg su bili prisutni u manjim količinama (Tabela 62, Slike 25-27). Najviše koncentracije Fe su izmerene u česticama

deponovanim na listovima breze iz Pančeva i Obrenovca u oktobru. Elementi kao što su Cl, Cu i Na samo su mestimično detektovani (Tabela 62). Male količine Cu su izmerene na listovima javora iz Smedereva i breze iz Beograda u junu, ukazujući na izvor emisije poreklom iz železare (Smederevo) i saobraćaja (Beograd). Prisustvo Al i Si je očekivano i dovodi se u vezu sa aluminosilikatnim česticama zemljišta (Schreck et al. 2012), dok je C uglavnom poreklom iz čađi (Tomašević et al. 2005). Gradski saobraćaj dovodi do resuspenzije čestica ulične prašine i zemljišta. Resuspendovane čestice zemljišta imaju karakterističan elementarni sastav i obično su to Si, Al, Fe, Mg, N, S, Ca i Cl. Čestice nastale sagorevanjem goriva obično sadrže Al, Si, Ca, Ni, Fe, V i Pb, čestice nastale sagorevanjem uglja sadrže C, Al, Si, K i Ca, a čestice koje su rezultat lokalne emisije mogu da sadrže Fe, Zn, Ni i Cu (Tomašević et al. 2005). Po Sawidis et al. (2011) jedna prosečna čestica atmosferske prašine deponovana na površinu lista ili kore sastoji se od Ca (39,69 %), Si (19,78 %), K (18,53 %), S (10,99 %) i nešto potencijalno toksičnih metala kao što su: Al (4,93 %), Mg (3,13 %), Fe (2,12 %), Pb (0,48 %) i Cr (0,22 %).

Generalno, rezultati su pokazali da oštećenja na strukturama periferijskih zaštita listova nisu izražena u meri da utiču na odvijanje fizioloških procesa u biljkama.

VII ZAKLJUČAK

Predmet istraživanja ove doktorske disertacije odnosi se na istraživanje mobilnosti, biodostupnosti i toksičnosti potencijalno toksičnih hemijskih elemenata u urbanim zemljištima, njihove akumulacije u drvenastim vrstama biljaka kao i na njihov uticaj na funkcionisanje biljaka na urbanim staništima.

Rezultati ovog istraživanja pokazali su da:

- Ispitivana zemljišta u Pančevu, Smederevu, Beogradu i na kontrolnom lokalitetu pripadaju klasi peskovito glinovite ilovače, a zemljišta u Obrenovcu i na kontrolnom lokalitetu Topčider klasi glinovite ilovače.
- Alkalna reakcija zemljišta zajedno sa niskom količinom padavina i veoma dugim periodom suše u letnjim mesecima, posebno u julu i avgustu, predstavlja glavni ograničavajući faktor za usvajanje elemenata od strane biljaka, a mala količina organske materije i azota negativno utiče na razvoj biljaka.
- Ukupan sadržaj hemijskih elemenata u zemljištu (Al, B, Cr, Fe, Li, Mn, Ni, Pb i Zn) je viši od prosečnih vrednosti za zemljišta peskovitog i praškasto-ilovastog sastava, a koncentracije B, Cr, Ni i Pb su u pojedinim parkovima više od MDK saglasno pravilniku Republike Srbije (SG RS 23/94), dok su koncentracije Cr, Ni, Pb i Zn često više od graničnih vrednosti za dati tip zemljišta saglasno uredbi Republike Srbije (SG RS 88/2010), što može da predstavlja potencijalni rizik za životnu sredinu.
- Poreklo i sadržaj ispitivanih elemenata u zemljištu je uglavnom uslovljeno prirodom matičnog supstrata, odnosno načinom formiranja urbanih zemljišta. Za zemljišta iz Smedereva, Obrenovca i Beograda utvrđen je značajan antropogeni uticaj, što se ogledalo i u prekoračenju MDK i graničnih vrednosti za pojedine elemente. Industrijske aktivnosti su identifikovane kao izvori Ni u Pančevu, Cr, Ni i Cu u Smederevu, a intenzivni saobraćaj predstavlja izvore Cu, Mn i Zn u Smederevu i Cu, Pb i Zn u Beogradu. Termoelektrana i deponija pepela u Obrenovcu predstavljaju dominantne antropogene izvore gotovo svih elemenata, a posebno Al, Cr, Cu, Ni, Pb i Zn. Poreklo Cr, Ni i Sr u Beogradu dovodi se u vezu sa lokalnim izvorima zagađenja. Generalno, uprkos značajnim antropogenim uticajima, posebno u Smederevu, Obrenovcu i Beogradu, analize su pokazale da nema značajnijeg zagađenja ispitivanih zemljišta.

- Najmanju mobilnost u ispitivanim zemljištima imaju Al, Cr i Fe, što ukazuje na njihovu snažnu strukturnu povezanost sa primarnim i sekundarnim silikatnim mineralima zemljišta, ali i njihovu slabu dostupnost biljkama. U ovoj formi su stabilni i ne postoji rizik od njihove potencijalne toksičnosti. Cu, Li i Ni predstavljaju slabo mobilne i veoma stabilne elemente u ispitivanim uzorcima zemljišta. Pb se takođe može smatrati stabilnim, osim u Pančevu (u zemljištu na kojem raste javor), Smederevu (u zemljištu na kojem rastu mleč i javor) i Obrenovcu (u zemljištu na kojem raste javor) gde ga odlikuje nešto veća mobilnost, što ga čini potencijalno dostupnim biljkama koje rastu na ovim lokalitetima. Zn i B spadaju u grupu srednje mobilnih elemenata, dok Mn i Sr odlikuje najveća mobilnost i potencijalna dostupnost ispitivanim biljkama što može da predstavlja potencijalni rizik za životnu sredinu, a ovi elementi su najviše dostupni biljkama iz Smedereva i Beograda.
- Postoje razlike u potencijalu ispitivanih vrsta drveća za akumulaciju hemijskih elemenata, ali su one specifične za vrstu i za staništa na kojima rastu. Aluminijum se u ispitivanim zemljištima nalazi u obliku koji nije dostupan biljkama za usvajanje i uz alkalne uslove ne predstavlja rizik u smislu fitotoksičnosti bez obzira na njegov visok sadržaj u zemljištu. Cr, Li, Ni i Pb su snažno vezani za čvrstu fazu zemljišta koja je u kombinaciji sa alkalnom reakcijom zemljišta uslovlila da ispitivane biljke slabo usvajaju ove elemente. Međutim, biljke su razvile različite mehanizme da inače nedostupno Fe učine dostupnim i da ga usvoje u količinama koje su im neophodne za obavljanje osnovnih fizioloških procesa. Visok sadržaj potencijalno dostupnog B i njegova velika mobilnost u zemljištu doveli su do akumulacije B tokom sezone u listovima ispitivanih vrsta do nivoa koji su označeni kao toksični, pri čemu je njegova akumulacija u listovima i kori specifična za svaku od ispitivanih vrsta. Uprkos optimalnom sadržaju Cu u zemljištu, slaba mobilnost, alkalni uslovi i kompeticija sa Zn tokom usvajanja, kao i nizak koeficijent transfera za ovaj element doveo je do toga da ga biljke usvajaju u ograničenim količinama koje su kod svih vrsta bile ispod vrednosti koje su neophodne za normalno funkcionisanje, a neretko su bile i u deficitu, posebno kod breze. Mn se u zemljištu nalazi u obliku potencijalno dostupnom biljkama za usvajanje,

međutim alkalna reakcija zemljišta usloвила je da ga biljke slabo usvajaju tako da je kod breze njegov sadržaj na svim lokalitetima, osim u Pančevu bio na nivou deficita. Kod mleča i javora deficit je zabeležen tokom cele sezone u Obrenovcu, dok je na ostalim lokalitetima bio uglavnom u opsegu normalnih koncentracija. Toksičan sadržaj Mn zabeležen je kod mleča iz Beograda, gde je i udeo u izmenjivoj i kiselo rastvornoj frakciji bio najveći. Sr odlikuje najveća mobilnost i potencijalna biodostupnost, tako da ni alkalni uslovi u zemljištu nisu uticali na usvajanje i akumulaciju ovog elementa u toksičnim koncentracijama. Najveća količina potencijalno dostupnog Zn odlikovala je zemljišta Smedereva i Beograda, međutim alkalna reakcija zemljišta i individualne karakteristike ispitivanih vrsta bili su ključni faktori koji su kontrolisali usvajanje Zn, što je usloвило da njegov sadržaj kod mleča i javora bude u deficitu, dok breza ima razvijene mehanizme za usvajanje Zn do nivoa koji se smatra optimalnim za funkcionisanje biljka. Međutim, breza iz Beograda je akumulirala Zn u koncentracijama koje se smatraju toksičnim za biljke zbog visokog sadržaja potencijalno dostupnog Zn.

- Ispitivane vrste generalno pokazuju malu osetljivost na stresne efekte akumuliranih elemenata, što se manifestovalo kroz vrednosti parametra efikasnosti fotosinteze F_v/F_m koje su bile u opsegu ili blago ispod vrednosti koje se smatraju optimalnim za lišćarske vrste i kroz sezonsko povećanje sadržaja Chl a, Chl a+b i Tot Carot. Najniža efikasnost fotosinteze je utvrđena kod individua mleča iz Smedereva i Beograda uključujući niži sadržaj Chl a, Chl b, Chl a+b i Tot Carot. Najveći nivo F_v/F_m je izmeren kod individua sa kontrolnog lokaliteta. Ovakav rezultat je najpre doveden u vezu sa toksičnim koncentracijama B u listovima ove vrste iz Smedereva i Beograda i toksičnog sadržaja Mn i Sr u Beogradu. Kod javora, najnižu efikasnost fotosinteze pokazale su individue iz Smedereva, što ukazuje na fotoinhibitorna oštećenja uzrokovana takođe toksičnim sadržajem B i Sr, odnosno deficitarnim sadržajem Cu i Zn. Najniža efikasnost fotosinteze kod breze i najniži sadržaj fotosintetskih pigmenata (Chl a, Chl b, Chl a+b, Tot Carot) odlikovala je individue iz Beograda, ukazujući da toksičan sadržaj B, Sr i Zn i deficitarni Cu i Mn

uzrokuje nešto nižu vitalnost breze u Beogradu u odnosu na iste sa drugih lokaliteta.

- U prvom delu vegetacijske sezone (jun) mlač i brezu odlikuje slična efikasnost fotosinteze, a kako sezona odmiče breza pokazuje bolju vitalnost u odnosu na mlač i javor. Generalno, ispitivane drvenaste vrste su pokazale malu osetljivost na zagađivanje u ispitivanim urbanim parkovima i u tom smislu ne mogu biti dobar izbor za bioindikaciju i/ili biomonitoring kvaliteta urbane sredine. To potvrđuju i BCF vrednosti za listove i koru ispitivanih vrsta, izuzev u slučaju Sr gde bi ove vrste eventualno mogle da se primene kao bioindikator Sr. Međutim, postoje razlike između vrsta u toleranciji na zagađivanje, i na bazi efikasnosti fotosinteze, sadržaja fotosintetičkih pigmenata i morfoloških simptoma oštećenja može se zaključiti da postoji izvesna gradacija u smislu tolerantnosti na efekte potencijalno toksičnih elemenata: breza > mlač > javor.

VIII LITERATURA

- Åberg G.E (2001)** Tracing pollution and its sources with isotopes. *Water Air and Soil Pollution* **130**:1577-1582.
- Adriano D.C (2001)** Trace elements in terrestrial environments. Biogeochemistry, bioavailability and risks of metal. Springer, New York, 867 pp.
- Agencija za zaštitu životne sredine (2013)** Izveštaj o stanju životne sredine u Republici Srbiji za 2012. godinu. Ministarstvo energetike, razvoja i zaštite životne sredine, Beograd.
- Ahmad M.S, Ashaf M (2011)** Essential roles and hazardous effects of nickel in plants. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology* **214**:125-167.
- Ahmad W, Zia M.H, Malhi S.S, Saifullah N.A (2012)** Boron deficiency in soils and crops: a review. In: Goyal A (ed) Crop plant. InTech, pp 77-114.
- Akan J.C, Audu S.I, Mohammed Z, Ogugbuaja V.O (2013)** Assessment of heavy metals, pH, organic matter and organic carbon in roadside soils in Makurdi metropolis, Benue State, Nigeria. *Journal of Environmental Protection* **4(6)**:18-628.
- Akbari H, Konopacki S (2005)** Calculating energy-saving potentials of heat-island reduction strategies. *Energy Policy* **33(6)**:721-756.
- Akbari H, Pomerantz M, Taha H (2001)** Cool surfaces and shade trees to reduce energy use and improve air quality in urban areas. *Solar Energy* **70**:295-310.
- Al-Khlaifat A.L, Al-Khashman O.A (2007)** Atmospheric heavy metal pollution in Aqaba city, Jordan, using *Phoenix dactylifera* L. leaves. *Atmospheric Environment* **41**:8891-8897.
- Al Obaidy A.H.M.J, Al Mashhadi A.A.M (2013)** Heavy metal contaminations in urban soil within Baghdad city, Iraq. *Journal of Environmental Protection* **4**:72-82.
- Alloway B.J (1995)** Heavy metals in soils. Springer Science+Business Media, Dordrecht, 368 pp.
- Anagnostatou, A.V (2008)** Assessment of heavy metals in central Athens and suburbs using plant material. Dissertation, University of Surrey.
- André O, Vollenweinder P, Günthardt-Goerg M.S (2006)** Foliage response to heavy metal contamination in Sycamore maple (*Acer pseudoplatanus* L.). *Forest Snow and Landscape Research* **80**: 275-288.

- Andrejić G**, Rakić T, Šinžar-Sekulić J, Mihailović N, Grubin J, Stevanović B, Tomović G (2016) Assessment of heavy metal pollution of topsoils and plants in the City of Belgrade. *Journal of Serbian Chemical Society* **81**(4):447-458.
- Aničić M**, Spasić T, Tomašević M, Rajšić S, Tasić M (2011) Trace elements accumulation and temporal trends in leaves of urban deciduous trees (*Aesculus hippocastanum* and *Tilia* spp.). *Ecological Indicators* **11**:824-30.
- Antić M**, Jović N, Avdalović V (1982) Pedologija. Naučna knjiga. Beograd, 403pp.
- Ardic M**, Sekmen A.H, Tokur S, Ozdemir F, Turkan I (2009) Antioxidant response of chickpea plants subjected to boron toxicity. *Plant Biology* **11**:328-338.
- Arnfield A.J** (2003) Two decades of urban climate research: a review of turbulence, exchanges of energy and water, and the urban heat island. *International Journal of Climatology* **23**:1-26.
- Arnon D.I** (1949) Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidases in *Beta vulgaris*. *Plant Physiology* **24**:1-15.
- Atterberg A** (1911) Die Plastizität der Tone. *International Mitteilungen für Bodenkunde* **1**:10-43.
- ATSDR** (2004) Agency for toxic substances and disease registry: toxicological profile for strontium. U.S. department of health and human services, Public Health Service, Atlanta, GA. www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp159.html.
- Baek S.A**, Han T, Ahn S.K, Kang H, Cho M.R, Lee S.C, Im K.H (2012) Effects of heavy metals on plant growths and pigment contents in *Arabidopsis thaliana*. *The Plant Pathology Journal* **28**(4):446-452.
- Baycu G**, Tolunay D, Özden H, Günebakan S (2006) Ecophysiological and seasonal variations in Cd, Pb, Zn, and Ni concentrations in the leaves of urban deciduous trees in Istanbul. *Environmental Pollution* **143**:545-554.
- Baker D.E**, Senef J.P (1995) Copper. In: Alloway B.J (ed) Heavy metals in soils. Blackie Academic and Professional, London, pp 179-205.
- Barać** (2017) Mobilnost i biodostupnost odabranih elemenata u poljoprivrednom zemljištu aluviona reke Ibar. Doktorska disertacija. Tehnološko-metalurški fakultet, Univerzitet u Beogradu.
- Bargagli R** (1998) Trace elements in terrestrial plants: an ecophysiological approach to biomonitoring and biorecovery. Springer-Verlag, Berlin, 344pp.

- Bashir F**, Tariq M, Khan M.H, Khan R.A, Aslam S (2014) Fractionation of heavy metals and their uptake by vegetables growing in soils irrigated with sewage effluent. *Turkish Journal of Engineering & Environmental Sciences* **38**:1-10.
- Berlizov A.N**, Blum O.B, Filby R.H, Malyuk I.A, Tryshyn V.V (2007) Testing applicability of black poplar (*Populus nigra* L.) bark to heavy metal air pollution monitoring in urban and industrial regions. *Science of the Total Environment* **372**:693-706.
- Biasioli M**, Barberis R, Ajmone-Marsan F (2006) The influence of a large city on some soil properties and metals content. *Science of the Total Environment* **356**:154-164.
- Bielicka-Gieldoń A**, Rylko E, Zamojc K (2013) Distribution, bioavailability and fractionation of metallic elements in Allotment garden soils using the BCR sequential extraction procedure. *Polish Journal of Environmental Studies* **22(4)**:1013-1021.
- Bielińska E.J**, Kolodziej B, Sugier D (2013) Relationship between organic carbon content and the activity of selected enzymes in urban soils under different anthropogenic influence. *Journal of Geochemical Exploration* **129**:52-56.
- Bjorkman O**, Demmig B (1987) Photon yield of O₂ evolution and chlorophyll fluorescence characteristics at 77 K among vascular plant of divers origins. *Planta* **170**:489-504.
- Borgese L**, Federici S, Zacco A, Gianoncelli A, Rizzo L, Smith D.R, Donna F, Lucchini R, Depero L.E, Bontempi E (2013) Metal fractionation in soils and assessment of environmental contamination in Vallecamonica, Italy. *Environmental Science and Pollution Research International* **20(7)**:5067-5075.
- Bradl H.B** (2004) Adsorption of heavy metal ions on soils and soils constituents. *Journal of Colloid and Interface Science* **277**:1-18.
- Brown H.P** (2007) Nickel. In: Barker A.V, Pilbeam D.J (eds) Handbook of plant nutrition. CRC Press, Taylor & Francis Group, LLC, Boca Raton, FL, pp 395-406.
- Brzaković I**, Mikalački J, Stepanović V, Jevtić B (2013) Studija o proceni uticaja zatečenog stanja na životnu sredinu postrojenja za proizvodnju hlorovodonične kiseline i dograđenog skladišta za hlorovodoničnu kiselinu. Beograd.
- Burghardt W**, Morel J.L, Zhang G.L (2015) Development of the soil research about urban, industrial, traffic, mining and military areas (SUITMA). *Soil Science and Plant Nutrition* **61**:3-21.

- Cakmak I** (2000) Possible roles of zinc in protecting plant cells from damage by reactive oxygen species. *New Phytologist* **146**:185-205.
- Cakmak D**, Perović V, Kresović M, Jaramaz D, Mrvić V, Belanović Simić S, Saljnikov E, Trivan G (2018) Spatial distribution of soil pollutants in urban green areas (a case study in Belgrade). *Journal of Geochemical Exploration* **188**:308-317.
- Camacho-Cristóbal J.J**, Rexach J, Gonzalez-Fontes A (2008) Boron in plants: deficiency and toxicity. *Journal of Integrative Plant Biology* **50(10)**:1247-1255.
- Candan N**, Tarhan L (2011) Influence of manganese deficiency on metal ion uptake, antioxidant defense mechanism and lipid peroxidation levels in mentha piperita leaves. *Acta Biologica Cracoviensia Series Botanica* **53(1)**:20-25.
- Canić M**, Glišić V, Čimburović S, Gajanović T, Janković B, Ostojić Z, Canić T, Krstić J (2010) Studija o proceni uticaja na životnu sredinu, projekta modernizacije rafinerije nafte Pančevo i integracije novih postrojenja i instalacija. Beograd.
- Caporale A.G**, Violante A (2016) Chemical processes affecting the mobility of heavy metals and metalloids in soil environments. *Current Pollution Report* **2**:15-27.
- Cervilla L.M**, Blasco B, Rios J.J, Rosales M.A, Sánchez-Rodríguez E, Rubio-Wilhelmi M.M, Romero L, Ruiz J.M (2012) Parameters symptomatic for boron toxicity in leaves of tomato plants. *Journal of Botany Article ID* 726206.
- Chen L.S**, Han S, Qi Y.P, Yang L.T (2012a) Boron stresses and tolerance in citrus *African Journal of Biotechnology* **11**:5961-5969.
- Chen M**, Tang Y.L, Ao J, Wang D (2012b) Effects of strontium on photosynthetic characteristics of oilseed rape seedlings. *Russian Journal of Plant Physiology* **59**:722-780.
- Chang C.Y**, Yu H.Y, Chen J.J, Li F.B, Zhang H.H, Liu C.P (2014) Accumulation of heavy metals in leaf vegetables from agricultural soils and associated potential health risks in the Pearl River Delta, South China. *Environmental Monitoring and Assessment* **186**:1547-1560.
- Cheremisina O**, Sergeev V, Fedorov A, Iliyina A (2017) Problems of protection of urban areas from radionuclides strontium-90 and cesium-137 after technological disasters. *Journal of Ecological Engineering* **18(3)**:97-103.
- Choppala G**, Kunhikrishnan A, Seshadri B, Park J.H, Bush R, Bolan N (2016) Comparative sorption of chromium species as influenced by pH, surface charge and

organic matter content in contaminated soils. *Journal of Geochemical Exploration* **184**:255-260.

Colombo C, Palumbo G, He J.Z, Pinton R, Cesco S (2014) Review on iron availability in soil: interaction of Fe minerals, plants, and microbes. *Journal of Soil and Sediments* **14**(3):538-548.

Crnković D, Ristić M, Antonović D (2006) Distribution of heavy metals and arsenic in soils of Belgrade (Serbia and Montenegro). *Soil & Sediment Contamination* **15**:581-589.

Curtis L, Rea W, Smith Willis P, Fenyves E, Pan Y (2006) Adverse health effects of outdoor air pollutants. *Environment International* **32**:815-830.

Cvijanović D, Subić J, Popović V, Mihailović B, Kljajić N et al. (2012) Strategija održivog ruralnog razvoja GO Obrenovac za period 2012 - 2022. godina. Institut za ekonomiku poljoprivrede, Beograd.

Ćirić M (1962) Pedologija za šumare. Jugoslovenski savetodavni centar za poljoprivredu i šumarstvo, Beograd.

Čakmak D (2016) Projekat "Stanje nepoljoprivrednog zemljišta-industrijskih zonavećih gradova u Republici Srbiji sa aspekta biološkog i hemijskog kvaliteta". Ministarstvo poljoprivrede i zaštite životne sredine Republike Srbije (br. ugovora 404-02-215/6/2015-15 od 6.07.2015 god.) i Institut za zemljište (br. ugovora 602 od 6.07.2015 god.).

Datta S.P, Rattan R.K, Suribabu K, Datta S.C (2002) Fractionation and colorimetric determination of boron in soils. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* **165**:179-184.

Davidson C.M, Urquhart G.J, Ajmone-Marsan F, Biasioli M, daCosta Duarte A, Diaz-Barrientos E, Grcman H, Hossack I, Hursthouse A.S, Madrid L, Rodrigues S, Zupan M (2006) Fractionation of potentially toxic elements in urban soils from five European cities by means of a harmonised sequential extraction procedure. *Analytica Chimica Acta* **565**:63-72.

Davies B.E (1995) Lead. In: Alloway BJ (ed) Heavy metals in soils. Blackie Academic, London, pp 206-223.

de Andrade Passos E, Alves J.C, dos Santos I.S, Alves J.P.H, Garcia C.A.B, Costa C.S (2010) Assessment of trace metals contamination in estuarine sediments using a

sequential extraction technique and principal component analysis. *Microchemical Journal* **96**:50-57.

de Macedo G, Bresolin J.D, Santos E.F, Furlan F, Lopes da Silva W.T, Polacco J.C, Lavres L (2016) Nickel availability in soil as influenced by liming and its role in soybean nitrogen metabolism fernando. *Frontiers in Plant Science* **7**:1358.

de Miguel E, Jimenez de Grado M, Llamas J.F, Martín-Dorado A, Mazadiego L.F (1998) The overlooked contribution of compost application to the trace element load in the urban soil of Madrid (Spain). *Science of the Total Environment* **215**:113-122.

de Oliveira L.M, Ma L.Q, Santos J.A, Guilherme L.R, Lessl J.T (2014) Effects of arsenate, chromate, and sulfate on arsenic and chromium uptake and translocation by arsenic hyperaccumulator *Pteris vittata* L. *Environmental Pollution* **184**:187-192.

de Oliveira L.M, Gress J, De J, Rathinasabapathi B, Marchi G, Chen Y, Ma L.Q (2016) Sulfate and chromate increased each other's uptake and translocation in As-hyperaccumulator *Pteris vittata*. *Chemosphere* **147**:36-43.

Deljanin I, Tomašević M, Aničić-Urošević M, Antanasijević D, Perić-Grujić A, Ristić M, (2014) Lead isotopic composition in tree leaves as tracers of lead in an urban environment. *Ecological Indicators* **45**:640-647.

Deljanin I, Antanasijević D, Bjelajac A, Aničić Urošević M, Nikolić M, Perić-Grujić A, Ristić M (2016) Chemometrics in biomonitoring: distribution and correlation of trace elements in tree leaves. *Science of the Total Environment* **545**:361-371.

Dezhban A, Shirvany A, Attarod P, Delshad M, Matinizada M, Khoshnevis M (2015) Cadmium and lead effects on chlorophyll fluorescence, chlorophyll pigments and proline of *Robinia pseudoacacia*. *Journal of Forest Research* **26(2)**:323-329.

Directive 86/278/EEC (1986) Direktiva saveta od 12. juna 1986. o zaštiti životne sredine, a posebno zemljišta, pri korišćenju kanalizacionog mulja u poljoprivredi. "Službeni list Evropske unije", br. L 181/6.

Doganlar Z.B, Doganlar O, Erdogan S, Onal Y (2012) Heavy metal pollution and physiological changes in the leaves of some shrub, palm and tree species in urban areas of Adana, Turkey, *Chemical Speciation & Bioavailability* **24(2)**:65-78.

Dragićević S, Karić I (2003) Opština Obrenovac u regionu Beograd – prirodne determinante. Beograd i njegov region. Geografski fakultet, Univerzitet u Beogradu. Asocijacija prostornih planera Srbije, Beograd.

- Dragičević S, Stepić M, Karić I (2008)** Prirodni potencijali i degradirane površine opštine Obrenovac. Jantar grupa, Beograd, 180 pp.
- Dragović R, Gajić B, Dragović S, Đorđević M, Đorđević M, Mihailović N, Onjia, A (2014)** Assessment of the impact of geographical factors on the spatial distribution of heavy metals in soils around the steel production facility in Smederevo (Serbia). *Journal of Cleaner Production* **4**:550-562.
- Duffus J.H (2002)** "Heavy metals" a meaningless term? (IUPAC Technical Report). *Pure and Applied Chemistry* **74(5)**:793-807.
- Đorđević J, Panić M (2006)** Prirodne karakteristike kao uslov razvoja teritorije opštine Obrenovac. Glasnik Srpskog geografskog društva, sveska LXXXVI, sveska br 2, Beograd pp 63-74.
- Economou-Eliopoulos M, Megremi I, Atsarou C, Theodoratou C, Vasilatos C (2013)** Spatial evolution of the chromium contamination in soils from the Assopos to Thiva Basin and C. Evia (Greece) and potential source (s): anthropogenic versus natural processes. *Geosciences* **3**:140-158.
- Edmondson J.L, Stott I, Davies Z.G, Gaston K.J, Leake J.R (2016)** Soil surface temperatures reveal moderation of the urban heat island effect by trees and shrubs. *Scientific reports* **6**:33708.
- El Hasan T, Al-Omari H, Jiries A, Al-Nasir F (2002)** Cypress tree (*Cupressus semervirens* L.) bark as an indicator for heavy metal pollution in the atmosphere of Amman City, Jordan. *Environment International* **28**:513-519.
- Ernst W.H.O (1993)** Geobotanical and biogeochemical prospecting for heavy metal deposits in Europe and Africa. In: Plants as biomonitors. Eds. Market B. VHC. Weinheim, New York, Basel, Cambridge, pp 108-126.
- Esmailzadeh J, Ahangar A.G (2014)** Influence of soil organic matter content on soil physical, chemical and biological properties. *International Journal of Plant, Animal and Environmental Sciences* **4**:244-252.
- Fargašová A (2001)** Phytotoxic effects of Cd, Zn, Pb, Cu and Fe on *Sinapis alba* L. seedlings and their accumulation in roots and shoots. *Biologia Plantarum* **44(3)**:471-473.
- Gajić G, Mitrović M, Pavlović P, Stevanović B, Đorđević L, Kostić O (2009)** An assessment of the tolerance of *Ligustrum ovalifolium* Hassk. to traffic-generated Pb

using physiological and biochemical markers. *Ecotoxicology and Environmental Safety* **72(4)**:1090-1101.

Gajić G, Pavlović P, Kostić O, Jarić S, Đurđević L, Pavlović D, Mitrović M. (2013) Ecophysiological and biochemical traits of three herbaceous plants growing on the disposed coal combustion fly ash of different weathering stage. *Archives of Biological Sciences* **65(4)**:1651-1667.

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.

Gajić G, Đurđević 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. *Ecological Engineering* **93**:250-261.

Galitskova Y.M, Murzayeva A.I (2016) Urban soil contamination. *Procedia Engineering* **153**:162-166.

Gawlik B.M, Bidoglio G (2006) Background values in European soils and sewage sludges PART III Results of a JRC-coordinated study on background values. European Commision, Joint Research Centre EUR 22265 EN

Ghariani R.H.A, Gržetić I, Antić M, Nikolić-Mandić S (2010) Distribution and availability of potentially toxic metals in soil in central area of Belgrade, Serbia. *Environmental Chemistry Letters* **8**:261-269.

Ghrefat H.A, Yusuf N, Jamarh A, Nazzal J (2012) Fractionation and risk assessment of heavy metals in soil samples collected along Zerqa River, Jordan. *Environmental Earth Sciences* **66**:199-208.

Giri S, Shrivastava D, Deshmukh K, Dubey P (2013) Effect of air pollution on chlorophyll content of leaves. *Current Agriculture Research Journal* **1(2)**:93-98.

Goldberg S (1997) Reactions of boron with soils. *Plant and soil* **193**:35-48.

Goldberg S, Su C (2007) New advances in boron soil chemistry. In: Advances in plant and animal boron nutrition, Xu F (ed) Proceedings of the 3rd International Symposium on all aspects of plant and animal boron nutrition. Springer, pp 313-320.

- Gorelova S.V**, Frontasyeva M.V, Yurukova L, Coşkun M, Pantelica A, Saitanis C.J, Tomašević M, Aničić M (2011) Revitalisation of urban ecosystems through vascular plants: preliminary results from the BSEC-PDF project. *Agrochimica* **2**:65-83.
- Gowariker V**, Krishnamurthy V.N, Gowariker S, Dhanorkar M, Paranjape K, Borlaug N (2009) The fertiliser encyclopedia. John Wiley and Sons Inc., New Jersey.
- Grantz D.A**, Garner J.H.B, Johnson D.W (2003) Ecological effects of particulate matter. *Environment International* **29**:213-239.
- Grubin J** (2016) Sezonske promene u sadržaju toksičnih metala u zemljištu i listovima zimzelenih vrsta *Prunus laurocerasus* L., *Buxus sempervirens* L. i *Mahonia aquifolium* (Purch) Nutt. na području grada Beograda. Doktorska disertacija. Biološki fakultet, Univerzitet u Beogradu.
- Gržetić I** (1996) Fizička hemija u geologiji: Fizička hemija ležišta mineralnih sirovina, Univerzitet u Beogradu, Beograd, pp 454.
- Gržetić I**, Ghariani R.H.A (2008) Potential health risk assessment for soil heavy metal contamination in the central zone of Belgrade (Serbia). *Journal of Serbian Chemical Society* **73(8-9)**:923-934.
- Guidi L**, Degl'Innocenti E, Carmassi G, Massa D, Pardossi A (2011) Effects of boron on leaf chlorophyll fluorescence of greenhouse tomato grown with saline water. *Environmental and Experimental Botany* **73**:57-63.
- Gupta D.K**, Rai U.N, Tripathi R.D, Inouhe M (2002) Impacts of fly-ash on soil and plant responses, *Journal of Plant Research* **115**:401-409.
- Gupta U.C** (2007) Boron. In: Barker A.V, Pilbeam D.J (eds) Handbook of plant nutrition. CRC Press, Taylor & Francis Group, LLC, Boca Raton, FL, pp 241-278.
- Gu Z.G**, Lin Q, Gao Z.P (2016) Metals in exposed-lawn soils from 18 urban parks and its human health implications in southern China's largest city, Guangzhou. *Journal of Cleaner Production* **115**:122-129.
- Hamad S.H**, Schauer J.J, Shafer M.M, Al-Rheem E.A, Skaar P.S, Heo J, Tejedor-Tejedor I (2014) Risk assessment of total and bioavailable potentially toxic elements (PTEs) in urban soils of Baghdad-Iraq. *Science of the Total Environment* **494-495**:39-48.

- Han S**, Chen L.S, Jiang H.X, Smith B.R, Yang L.T, Xie C.Y (2008) Boron deficiency decreases growth and photosynthesis and increases starch and hexoses in leaves of citrus seedlings. *Journal of Plant Physiology* **165**:1331-1341.
- Han S**, Tang N, Jiang H.X, Yang L.T, Li Y, Chen L.S (2009) CO₂ assimilation, photosystem II photochemistry, carbohydrate metabolism and antioxidant system of citrus leaves in response to boron stress. *Plant Science* **176**:143-153.
- Han Y**, Du P, Cao J, Posmentier E.S (2006) Multivariate analysis of heavy metal contamination in urban dusts of Xi'an, Central China. *Science of the Total Environment* **355**:176-186.
- Horváth A**, Szűcs P, Bidló A (2015) Soil condition and pollution in urban soils: Evaluation of the soil quality in a hungarian town. *Journal of Soils and Sediments* **15(8)**:1825-1835.
- Hou J**, Evans L.J, Spiers G.A (1994) Boron fractionation in soils. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* **25**:1841-1853.
- Howe P.D**, Malcolm H.M, Dobson S (2004) Manganese and its compounds: environmental aspects. WHO, Geneva, CICAD No 63.
- Hu H**, Brown P.H (1997) Absorption of boron by plant roots. *Plant and Soil* **193(1)**:49-58.
- Humphries J.M**, Stangoulis J.C.R, Graham R.D (2007) Manganese. Barker A.V, Pilbeam D.J (eds) Handbook of plant nutrition. CRC Press, Taylor & Francis Group, LLC, Boca Raton, FL, pp 351-374.
- Hwang H.J**, Yook S.J, Ahn K.H (2011) Experimental investigation of submicron and ultrafine soot particle removal by tree leaves. *Atmospheric Environment* **45**:6987-6994.
- IARC** (1987) Overall evaluations of carcinogenicity: an updating of IARC monographs Volumes 1 to 42. World Health Organization, International Agency for Research on Cancer.
- Ilander A**, Väisänen A (2007) An ultrasound-assisted digestion method for the determination of toxic element concentrations in ash samples by inductively coupled plasma optical emission spectrometry. *Analytica Chimica Acta* **602(2)**:195-201.
- Imperato M**, Adamo P, Naimo D, Arienzo M, Stanzione D, Violante P (2003) Spatial distribution of heavy metals in urban soils of Naples city (Italy). *Environmental Pollution* **124**:247-256.

- Islam S**, Ahmed K, Al-Mamun H, Masunaga S (2015) Potential ecological risk of hazardous elements in different land-use urban soils of Bangladesh. *Science of the Total Environment* **512-513**:94-402.
- ISO 11465/1993** Soil quality-Determination of dry matter and water content on a mass basis-Gravimetric method.
- ISO 10390/1994** Soil quality-Determination of pH.
- Jain C.K**, Malik D.S, Yadav R (2007) Metal fractionation study on bed sediments of Lake Nainital, Uttaranchal, India. *Environmental Monitoring and Assessment* **130**:129-139.
- Jaradat Q.M**, Massadeh A.M, Zaitoun M.A, Maitah B.M (2006) Fractionation and sequential extraction of heavy metals in the soil of scrapyards of discarded vehicles. *Environmental Monitoring and Assessment* **112**:197-210.
- Jelić M**, Šekularac G, Đekić V, Dugalić G, Paunović A, Madić M, Đalović I (2017) Sadržaj i mobilnost gvožđa u kiselim zemljištima Centralne Srbije. XXII savetovanje u biotehnologiji, Zbornik radova, Knjiga 1.
- Jiang M**, Zeng G, Zhang C, Ma X, Chen M, Zhang J, Lu L, Yu Q, Hu L, Liu L (2013) Assessment of heavy metal contamination in the surrounding soils and surface sediments in Xiawangang river, Qingshuitang District. *PLoS One* **8(8)**:e71176.
- Jiao X**, Teng Y, Zhan Y, Wu J, Lin X (2015) Soil heavy metal pollution and risk assessment in Shenyang industrial district, Northeast China. *PLoS One* **10(5)**:e0127736.
- Joshi P.C**, Swami A (2007) Physiological responses of some tree species under roadside automobile pollution stress around city of Haridwar, India. *Environmentalist* **27**:365-374.
- Joshi P.C**, Swami A (2009) Air pollution induced changes in the photosynthetic pigments of selected plant species. *Journal of Environmental Biology* **30(2)**:295-298.
- Jovanović B** (1985) Dendrologija, IV izmenjeno izdanje. Šumarski fakultet, Univerziteta u Beogradu, 557 pp.
- Jovanović S** (1994) Ekološka studija ruderalne flore i vegetacije Beograda, Biološki fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd 222 pp.
- Kabala C**, Singh B.R (2001) Fractionation and mobility of copper, lead, and zinc in soil profiles in the vicinity of a copper smelter. *Journal of Environmental Quality* **30**:485-492.

- Kabata-Pendias A, Mukherjee A.B** (2007) Trace elements from soil to human, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, New York, 519 pp.
- Kabata-Pendias A, Pendias H** (1999) Biogeochemistry of trace elements, 2nd ed., Wyd Nauk PWN, Warszawa (in Polish).
- Kabata-Pendias A, Pendias H** (2001) Trace elements in soils and plants, CRC Press LLC, Boca Raton, London, New York, Washington, 413 pp.
- Kabata-Pendias A, Sadurski W** (2004) Trace elements and compounds in soil. In: Merian E, Anke M, Ihnat M, Stoepppler M (eds) Elements and their compounds in the environment, Wiley-VCH, Weinheim, pp 79-99.
- Kadi M.W** (2009) "Soil Pollution Hazardous to Environment": A case study on the chemical composition and correlation to automobile traffic of the roadside soil of Jeddah city, Saudi Arabia. *Journal of Hazardous Materials* **168**:1280-1283.
- Kalinowska M, Hawrylak-Nowak B, Szymańska M** (2013) The influence of two lithium forms on the growth, L-ascorbic acid content and lithium accumulation in lettuce plants. *Biological Trace Element Research* **152**:251-257.
- Kandziora-Ciupa M, Ciepał R, Nadgórska-Socha A, Barczik G** (2016) Accumulation of heavy metals and antioxidant responses in *Pinus sylvestris* L. needles in polluted and non-polluted sites. *Ecotoxicology* **25**:970-981.
- Kardel F, Wuyts K, Babanezhad M, Vitharana U.W.A, Wuytack T, Potters G, Samson R** (2010) Assessing urban habitat quality based on specific leaf area and stomatal characteristics of *Plantago lanceolata* L. *Environmental Pollution* **158**:788-794.
- Keser G** (2013) Effects of irrigation with wastewater on the physiological properties and heavy metal content in *Lepidium sativum* L. and *Eruca sativa* (Mill.). *Environmental Monitoring and Assessment* **185**:6209-6217.
- Khan S, Kazi T.G, Arain M.B, Kolachi N.F, Baig J.A, Afridi H.I, Shah A.Q** (2010) Evaluation of bioavailability and partitioning of aluminum in sediment samples of different ecosystems by modified sequential extraction methods. *Clean, Soil and Water* **41(8)**:808-815.
- Kim N.D, Fergusson J.E** (1994) Seasonal variations in the concentration of cadmium, copper, lead and zinc in leaves of the horse chesnut (*Aesculus hippocastanum* L.). *Environmental Pollution* **86**:89-97.

- Koelmans A.A**, Jonker M.T.O, Cornelissen G, Bucheli T.D, Van Noort P.C.M, ÖrjanGustafsson O (2006) Black carbon: The reverse of its dark side. *Chemosphere* **63(3)**:365-377.
- Kopsell D.E**, Kopsell D.A (2007) Copper. In: Barker A.V, Pilbeam D.J (eds) Handbook of plant nutrition. CRC Press, Taylor & Francis Group, LLC, Boca Raton, FL, pp 293-328.
- Kösesakal T**, Ünal M (2009) Role of zinc deficiency in photosynthetic pigments and peroxidase activity of tomato seedlings. *IUFS Journal of Biology* **68(2)**:113-120.
- Kosiorek M**, Modrzewska B, Wyszowski (2016) Levels of selected trace elements in Scots pine (*Pinus sylvestris* L.), silver birch (*Betula pendula* L.), and Norway maple (*Acer platanoides* L.) in an urbanized environment. *Environmental Monitoring and Assessment* **188**:598-610.
- Kostić O**, Mitrović M, Knežević M, Jarić S, Gajić G, Đurđević L, Pavlović P (2012) The potential of four woody species for the revegetation of fly ash deposits from the „Nikola Tesla – A“ Thermoelectric plant (Obrenovac, Serbia). *Archives of Biological Sciences* **64(1)**:145-158.
- Kostić O** (2014) Ekofiziološke karakteristike nekih drvenastih vrsta biljaka i njihov potencijal za revitalizaciju deponije pepela termoelektrana. Doktorska disertacija, Šumarski fakultet, Univerzitet u Beogradu.
- Kozlov M.V**, Haukioja E, Bakhtiarov A.V, Stroganov D.N (1995) Heavy metals in birch leaves around a nickel-copper smelter at Monchegorsk, Northwestern Russia. *Environmental Pollution* **90(3)**:291-299.
- Krause G**, Weis E (1991) Chlorophyll fluorescence and photosynthesis: The basics. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology* **42**:313-349.
- Krčmar D** (2010) Uticaj promene fizičko-hemijskih uslova i odabranih tretmana na mobilnost metala u sistemu sediment/voda. Doktorska disertacija. Prirodno-matematički fakultet departman za hemiju, biohemiju i zaštitu životne sredine, Univerzitet u Novom Sadu.
- Kroukamp E.M**, Wondimu T, Forbes P.B.C (2016) Metal and metalloid speciation in plants: Overview, instrumentation, approaches and commonly assessed elements. *Trends in Analytical Chemistry* **77**:87-99.

- Kulshreshtha K**, Rai A, Mohanty C.S, Roy R.K, Sharma S.C (2009) Particulate pollution mitigating ability of some plant species. *International Journal of Environmental Research* **3(1)**:137-142.
- Kuzmanoski M.M**, Todorović M.N, Aničić-Urošević M.P, Rajšić S.F (2014) Heavy metal content of soil in urban parks of Belgrade. *Hemijska Industrija* **68**:643-651.
- Landi M**, Degl'Innocenti E, Pardossi A, Guidi L (2012) Antioxidant and photosynthetic responses in plants under boron toxicity: A review. *American Journal of Agricultural and Biological Science* **7(3)**:255-270.
- Landi M**, Remorini D, Pardossi A, Guidi L (2013) Boron excess affects photosynthesis and antioxidant apparatus of greenhouse Cucurbita pepo and Cucumis sativus. *Journal of Plant Research* **126(6)**:775-786.
- Larcher W** (1995) Physiological plant ecology. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 506 pp.
- LEAP** (2004) Lokalni ekološki akcioni plan Pančevo. Sumirani izveštaj, Knjiga 1. Evropska agencija za rekonstrukciju.
- Li X**, Poon C.S, Liu P.S (2001) Heavy metal contamination of urban soils and street dusts in Hong Kong. *Applied Geochemistry* **16**:1361-1368.
- Li F.R**, Kang L.F, Gao X.Q, Hua W, Yang F.W, Hei W.L (2007) Traffic-related heavy metal accumulation in soils and plants in Northwest China. *Soil & Sediment Contamination* **16**:473-484.
- Li Z.G**, Zhang G.S, Liu Y, Wan K.Y, Zhang R.G, Chen F (2013) Soil nutrient assessment for urban ecosystems in Hubei, China. *PLoS One* **8(9)**:e75856.
- Lu Y**, Zhu F, Chen J, Gan H, Guo Y (2007) Chemical fractionation of heavy metals in urban soils of Guangzhou, China. *Environmental Monitoring and Assessment* **134**:429-439.
- Lucho-Constantino C.A**, Prieto-García F, Del Razo L.M, Rodríguez-Vázquez R, Poggi-Varaldo H.M (2005) Chemical fractionation of boron and heavy metals in soils irrigated with wastewater in central Mexico. *Agriculture, Ecosystems and Environment* **108**:57-71.
- Lux W** (1986) Schwermetallgehalte und -isoplethen in Boden, subhydrischen Ablagerung und Pflanzen im Sudosten Hamburgs. Hamburger Bodenkundliche Arbeiten 5, 249 pp.

- Madlener R**, Sunak Y (2011) Impacts of urbanization on urban structures and energy demand: What can we learn for urban energy planning and urbanization management? *Sustainable Cities and Society* **1(1)**:45-53.
- Madrid L**, Díaz-Barrientos E, Madrid F (2002) Distribution of heavy metal contents of urban soils in parks of Seville. *Chemosphere* **49**:1301-1308.
- Madrid F**, Biasioli M, Ajmone-Marsan F (2008) Availability and bioaccessibility of metals in fine particles of some urban soils. *Archive of Environmental Contamination and Toxicology* **55**:21-32.
- Marjanović M. D**, Vukčević M.M, Antonović D.G, Dimitrijević S. I, Jovanović Đ.M, Matavulj M.N, Ristić M.Đ (2009) Heavy metals concentration in soils from parks and green areas in Belgrade. *Journal of the Serbian Chemical Society* **74**:697-706.
- Markert B** (1993) Instrumental analysis of plants. In: Markert B (ed) Plants as biomonitors. indicators for heavy metals in terrestrial environment. Weinheim VCH, Weinheim, pp 65-103.
- Marschner H** (1993) Zinc uptake from soil. In: Robson AD (ed) Zinc in soil and plants, 1st edn. Kluwer Academic Publisher, Dordrecht, pp 59-77.
- Massa N**, Andreucci F, Poli M, Aceto M, Barbato M, Berta G (2010) Screening for heavy metal accumulators amongst autochthonous plants in a polluted site in Italy. *Ecotoxicology and Environmental Safety* **73**:1988-1997.
- Matúš M**, Kubova J, Bujdoš M, Medved J (2006) Free aluminium extraction from various reference materials and acid soils with relation to plant availability. *Talanta* **70**:996-1005.
- Mahanta M.J**, Bhattacharyya K.G (2011) Total concentrations, fractionation and mobility of heavy metals in soils of urban area of Guwahati, India. *Environmental Monitoring and Assessment* **173**:221-240.
- Manta S.D**, Angelone M, Bellanca A, Neri R, Sprovieri M (2002) Heavy metals in urban soils: a case study from the city of Palermo (Sicily), Italy. *Science of the Total Environment* **300**:229-243.
- Matić D**, Živković M, Lekić-Rašović S, Medić A, Mikalački J, Stepanović V (2012) Studija o proceni uticaja zatečenog stanja na životnu sredinu. Knjiga 1, Beograd.

- Matong J.M**, Nyaba L, Nomngongo P.N (2016) Fractionation of trace elements in agricultural soils using ultrasound assisted sequential extraction prior to inductively coupled plasma mass spectrometric determination. *Chemosphere* **154**:249-257.
- Mattiello E.M**, Ruiz H.A, Neves J.C.L, Ventrella. C (2015) Zinc deficiency affects physiological and anatomical characteristics in maize leaves. *Journal of Plant Physiology* **183**:138-143.
- Maxwell K**, Johnson G.N (2000) Chlorophyll fluorescence-A practical guide. *Journal of Experimental Botany* **51**:659-668.
- Meuser H (2010)** Contaminated urban soils, Springer, Dordrecht, The Netherlands, 320 pp.
- Mihailović A**, Budinski-Petković Lj, Popov S, Ninkov J, Vasin J, Ralević N.M, Vučinić-Vasić M (2015) Spatial distribution of metals in urban soil of Novi Sad, Serbia: GIS based approach. *Journal of Geochemical Exploration* **150**:104-114.
- Millaleo R**, Reyes-Díaz M, Alberdi M, Ivanov A.G, Krol M, Hüner N.P.A (2013) Excess manganese differentially inhibits photosystem I versus II in *Arabidopsis thaliana*, *Journal of Experimental Botany* **64**(1):343-354.
- Milošević D**, Nađ I, Stojanović V (2014) Zemljišta u gradovima: stanje problem i tehnike remedijacije. *Zbornik radova Departmana za geografiju, turizam i hotelijerstvo* **43**(1):1-17.
- Mingorance M.D**, Rossini S.O (2006) Heavy metals content in *N. oleander* leaves as urban pollution assessment. *Environmental Monitoring and Assessment* **119**:57-68.
- Mingorance M.D**, Valdés B, Oliva S.R (2007) Strategies of heavy metal uptake by plants growing under industrial emissions. *Environment International* **33**:514-520.
- Mitrović M** (1998) Ekofiziološke adaptacije drveća u urbanim uslovima Beograda. Doktorska disertacija. Biološki fakultet, Univerzitet u Beogradu.
- Mitrović M**, Pavlović P, Đurđević L, Gajić G, Kostić O, Bojović S (2006) Differences in Norway maple leaf morphology and anatomy among polluted (Belgrade city parks) and unpolluted (Maljen Mt.) landscapes. *Ekologia (Bratislava)* **25**(2):126-137.
- Mitrović M**, Pavlović P, Lakušić D, Đurđević L, Stevanović B, Kostić O, Gajić G (2008) The potential of *Festuca rubra* and *Calamagrostis epigejos* for the revegetation of fly ash deposits. *Science of Total Environment* **407**:338-347.

- Mitrović M**, Jarić S, Kostić O, Gajić G, Karadžić B, Đurđević L, Oberan Lj, Pavlović D, Pavlović M, Pavlović P (2012) Photosynthetic efficiency of four woody species growing on fly ash deposits of a Serbian „Nikola Tesla – A“ Thermoelectric Plant. *Polish Journal of Environmental Studies* **21**(5):1339-1347.
- Miwa K**, Fujiwara T (2010) Boron transport in plants: co-ordinated regulation of transporters. *Annals of Botany* **105**:1103-1108.
- Mladenović S**, Mandić Miladinović M, Milutinović M, Pajić D, Ristanović I, et al. (2016) Kvalitet životne sredine u gradu Beogradu u 2012, 2013, 2014 i 2015. godini. Grad Beograd, Gradska uprava, Sekretarijat za zaštitu životne sredine 453 pp.
- Morani A**, Nowak D.J, Hirabayashi S, Calfapietra C (2011) How to select the best tree planting locations to enhance air pollution removal in the Million TreesNYC initiative. *Environmental Pollution* **159**:1040-1047.
- Morel J.L**, Heinrich A.B (2008) SUTMA-soils in urban, industrial, traffic, mining and military areas An interdisciplinary working group of the ‘International Union of Soil Science’ (IUSS) dedicated to soils strongly modified by human activities. *Journal of Soils and Sediments* **8**:206.
- Morrissey J**, Guerinot M.L (2009) Iron uptake and transport in plants: The good, the bad, and the ionome. *Chemical Review* **109**(10): 4553-4567.
- Morton-Bermea O**, Hernández-Álvarez E, González-Hernández G, Romero F, Lozano R. Beramendi-Orosco L.E (2009) Assessment of heavy metal pollution in urban topsoils from the metropolitan area of Mexico City. *Journal of Geochemical Exploration* **101**(3):218-224.
- Mousavi S.R**, Galavi M, Rezaei M (2012) The interaction of zinc with other elements in plants: a review. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences* **4**:1881-1884.
- Moyen C**, Roblin G (2010) Uptake and translocation of strontium in hydroponically grown maize plants, and subsequent effects on tissue ion content, growth and chlorophyll a/b ration: comparison with Ca effects. *Environmental and Experimental Botany* **68**:247-257.
- Mrvić V**, Antonović G, Martinović Lj (2009) Plodnost i sadržaj opasnih i štetnih materija u zemljištima centralne Srbije. Institut za zemljište, Beograd, 223 pp.

- Mrvić V**, Kostić-Kravljanac Lj, Čakmak D, Sikirić B, Brebanović B, Perović V, Nikoloski M (2011) Pedogeochemical mapping and background limit of trace elements in soils of Branicevo Province (Serbia). *Journal of Geochemical Exploration* **109**:18-25.
- Nabeela F**, Murad W, Khan I, Mian I.A, Rehman H (2015) Effect of wood ash application on the morphological, physiological and biochemical parameters of *Brassica napus* L. *Plant Physiology and Biochemistry* **95**:15-25.
- Nable R.O**, Bañueolos G.S, Paull J.G (1997) Boron toxicity considerable genetic variation in response to high B has been identified in a wide range of plant species, most of which share a similar tolerance mechanism-reduced uptake of B in both shoots and roots. *Plant and Soil* **193**:181-198.
- Nagajyoti P.C**, Lee K.D, Sreekanth T.V.M (2010) Heavy metals, occurrence and toxicity for plants: a review. *Environmental Chemistry Letters* **8**:199-216.
- Nannoni F**, Protano G, Riccobono F (2011) Fractionation and geochemical mobility of heavy elements in soils of a mining area in northern Kosovo. *Geoderma* **161**:63-73.
- Naqib S.A**, Jahan M.S (2017) The function of molybdenum and boron on the plants. *Open Access Journal of Agricultural Research* **2(3)**:000136.
- Nelson D.W**, Sommers L.E (1996) Total carbon, organic carbon, and organic matter. In: Sparks D.L (ed) *Methods of Soil Analysis, Part 3*, SSSA, Madison, pp 961-1010.
- Nikolić M** (1999) Mehanizam usvajanja gvožđa u mezofilu lista viših biljaka. Doktorska disertacija. Poljoprivredni fakultet, Univerzitet u Beogradu.
- Nowak D.J**, Crane D.E, Stevens J.C (2006) Air pollution removal by urban trees and shrubs in the United States. *Urban Forestry & Urban Greening* **4**:115-123.
- Nriagu J.O** (1988) Production and uses of chromium. Chromium in the natural and human environments. Wiley, New York, 81-104 pp.
- Olajire A.A**, Ayodele E.T, Oyediran G.O, Oluyemi E.A (2002) Levels and speciation of heavy metals in soils of industrial southern Nigeria. *Environmental Monitoring and Assessment* **85**:135-155.
- Osakwe S.A** (2013) Chemical partitioning of iron, cadmium, nickel and chromium in contaminated soils of south-eastern Nigeria. *Chemical Speciation & Bioavailability* **25(1)**:71-78.

- Pacyna J.M**, Pacyna E.G (2001) An assessment of global and regional emissions of trace metals to the atmosphere from anthropogenic sources worldwide. *Environmental Reviews* **9(4)**:269-298.
- Padbhushan R**, Kumar D (2017) Fractions of soil boron: a review. *The Journal of Agricultural Science* **155(7)**:1023-1032.
- Page V**, Feller U (2015) Heavy metals in crop plants: Transport and redistribution processes on the whole plant level. *Agronomy* **5**:447-463.
- Palit D**, Kar D, Misra P, Banerjee A (2013) Assessment of air quality using several biomonitors of selected sites of Durgapur, Burdwan district by air pollution tolerance index approach. *Indian Journal of Scientific Research* **4(1)**:149-152.
- Pan L**, Ma J, Hu J, Su B, Fang G, Wang Y, Wang Z, Wang L, Xiang B (2016) Assessments of levels, potential ecological risk, and human health risk of heavy metals in the soils from a typical county in Shanxi Province, China. *Environmental Science and Pollution Research* **23(19)**:19330-19340.
- Panda S.K**, Baluska F, Matsumoto H (2009) Aluminum stress signaling in plants: A Review. *Plant Signaling & Behavior* **4(7)**:592-597.
- Papadakis I**, Dimassi K.N, Bosabalidis A.M, Therios I.N, Patakas A, Giannakoula A (2004) Effects of B excess on some physiological and anatomical parameters of ‘Navelina’ orange plants grafted on two rootstocks. *Environmental and Experimental Botany* **51**:247-257.
- Parzych A**, Jonczak J (2013) Content of heavy metals in needles of Scots pine in selected pine (*Pinus sylvestris* L.) forests in Slowinski national park. *Archives of Environmental Protection* **39(1)**:41-51.
- Pavlović D**, Pavlović M, Marković M, Karadžić B, Kostić O, Jarić S, Mitrović M, Gržetić I, Pavlović P (2017a) Possibilities of assessing trace metal pollution using *Betula pendula* Roth. leaf and bark-experience in Serbia. *Journal of the Serbian Chemical Society* **82(6)**:723-737.
- Pavlović D**, Pavlović M, Čakmak D, Kostić O, Jarić S, Mitrović M, Gržetić I, Pavlović P (2018) Fractionation, mobility and contamination assessment of potentially toxic metals in urban soils in four industrial Serbian cities. *Archiv of Environmental Contamination and Toxicology*.<https://doi.org/10.1007/s00244-018-0518-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. *Archives of Biological Sciences* **69**(2):201-214.
- 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. *International Journal of Environmental Research* **11**(5-6):625-639.
- Pavlović P**, Mitrović M, Đurđević L (2004) An ecophysiological study of plants growing on the fly ash deposits from the “Nikola tesla – A” thermal power station in Serbia. *Environmental Management* **33**:654-663.
- Pavlović P**, Mitrović M, Đurđević L, Gajić G, Kostić O, Bojović S (2007) Ecological potential of *Spirea van-houttei* (Briot) Zabel for urban (Belgrade city) and fly ash deposit (Obrenovac) landscaping in Serbia. *Polish Journal of Environmental Studies* **16**:427-431.
- Pavlović P**, Mitrović M (2013) Termoelektrane u Srbiji-uticaj letećeg pepela na zemljište i biljke. Energetika i životna sredina, Naučni skupovi, knjiga 4 Anđelković M (ed) SANU. Beograd. pp.429-433.
- Pavlović P**, Mitrović M (2016) Kontaminacija zemljišta. Degradacija i zaštita zemljišta, Tematski zbornik. Belanović Simić S (ed) Univerzitet u Beogradu Šumarski fakultet 173 pp.
- Pavlović P**, Kostić N, Karadžić B, Mitrović M (2017d) The soils of Serbia. Springer Netherlands, pp 225.
- Petrova S** (2011) Biomonitoring study of air pollution with *Betula pendula* Roth., from Plovdiv, Bulgaria. *Ecologia Balkanica* **3**(1):1-10.
- Petrova S**, Yurukova L, Velcheva I (2014) Possibilities of using deciduous tree species in trace element biomonitoring in an urban area (Plovdiv, Bulgaria). *Atmospheric Pollution Research* **5**:196-202.
- Piczak K**, Lesniewicz A, Zyrnicki W (2003) Metal concentrations in deciduous tree leaves from urban areas in Poland. *Environmental Monitoring and Assessment* **86**:273-287.

- Pinto E**, Aguiar A.A.R.M, Ferreira I.M.P.L.V.O (2014) Influence of soil chemistry and plant physiology in the phytoremediation of Cu, Mn, and Zn. *Critical Reviews in Plant Sciences* **33**:351-373.
- Pope C.A**, Dockery D.W (2006) Health effects of fine particulate air pollution: Lines that connect. *Journal of the air & waste management association* **56**:709-742.
- Popek R**, Gawrońska H, Wrochna M, Gawroński S.W, Sæbø A (2013) Particulate matter on foliage of 13 woody species: deposition on surfaces and phytostabilisation in waxes-a 3-year study. *International Journal of Phytoremediation* **15**:245-256.
- Popović A** (2002) Specijacija mikroelemenata pepela lignita. Doktorska disertacija. Hemijski fakultet, Univerzitet u Beogradu.
- Power P.P**, Woods W.G (1997) The chemistry of boron and its speciation in plants. *Plant and Soil* **193**:1-13.
- Prado F.E**, Hilal M, Chocobar-Ponce S, Pagano E, Rosa M, Prado C (2016) Chapter 6-Chromium and the plant: a dangerous affair? In: Ahmad P (ed) Plant metal interaction. Elsevier, pp 149-177.
- Qin S**, Zhao C, Li Y, Zhang Z (2015) Review of coal as a promising source of lithium. *International Journal of Oil, Gas and Coal Technology* **9(2)**:215-229.
- Qiu Y**, Guan D, Song W, Huang K (2009) Capture of heavy metals and sulfur by foliar dust in urban Huizhou, Guangdong Province, China. *Chemosphere* **75**:447-452.
- Rademacher P** (2001) Atmospheric heavy metals and forest ecosystems. Federal research centre for forestry and forest products-BFH, Geneva and Brussels, 20 pp.
- Radojević A** (2017) Biomonitoring vazduha i fitoremedijacija zemljišta upotrebom hrasta, smreke i lešnika. Doktorska disertacija. Tehnički fakultet u Boru, Univerzitet u Beogradu.
- Rai A**, Kulshreshtha K (2006) Effect of particulates generated from automobile emission on some common plants. *Journal of Food, Agriculture & Environment* **4(1)**:253-259.
- Rai P.K**, Panda L.L.S (2015) Roadside plants as bioindicators of air pollution in an industrial region, Rourkela, India. *International Journal of Advancements in Research & Technology* **4(1)**:14-36.

- Ramos L**, Hernandez L.M, Gonzalez M.J (1994) Sequential fractionation of copper, lead, cadmium and zinc in soils from or near Doñana National Park. *Journal of Environmental Quality* **23**:50-57.
- Reid R.J**, Fitzpatrick K.K (2009) Redistribution of boron in leaves reduces boron toxicity. *Plant Signaling & Behavior* **4(11)**:1091-1093.
- Reimann C**, Arnoldussen A, Finne T.E, Koller F, Nordgulen O, Englmaier P (2007) Element contents in mountain birch leaves, bark and wood under different anthropogenic and geogenic conditions. *Applied Geochemistry* **22**:1549-1566.
- Relić D**, Đorđević D, Sakan S, Anđelković I, Pantelić A, Stanković R, Popović A (2013) Conventional, microwave, and ultrasound sequential extractions for the fractionation of metals in sediments within the Petrochemical Industry, Serbia. *Environmental Monitoring and Assessment* **18**:7627-7645.
- Republički zavod za statistiku RS** (2012) Popis stanovništva, domaćinstava i stanova 2011. u Republici Srbiji.
<http://pod2.stat.gov.rs/ObjavljenePublikacije/Popis2011/Nacionalna%20pripadnost-Ethnicity.pdf>
- RHMZ** (2013a) Meteorološki godišnjak 1. Klimatološki podaci 2012. Republički hidrometeorološki zavod Srbije.
- RHMZ** (2013b) Značajni klimatski događaji na području Srbije tokom 2012. godine. Republički hidrometeorološki zavod Srbije, Sektor nacionalnog centra za klimatske promene, Odeljenje za klimatske prognoze, informisanje i buku.
- Ristić M**, Marjanović M (2006) Concentrations of Cu, Zn, Cd and Pb in urban soils in parks and green areas of Belgrade, Serbia. *Chemical Industry and Chemical Engineering Quarterly* **12(4)**:236-240.
- Rossini S.O**, Mingorance M.D (2006) Assessment of airborne heavy metal pollution by aboveground plant parts. *Chemosphere* **65**:177-182.
- Römheld V**, Nikolić M (2007) Iron. In: Barker A.V, Pilbeam D.J (eds) Handbook of plant nutrition. CRC Press, Taylor & Francis Group, LLC, Boca Raton, FL, pp. 329-350.
- Rykowska I**, Wasiak W (2009) Dystrybucja rtęci i metali ciężkich w korze drzew liściastych jako wskaźnik skazenia środowiska. *Gospodarka odpadami Komunalnymi* 273-282.

- Saint-Laurent D**, Beaulac-Gervais V, Berthelot J.S (2014) Comparison of soil organic carbon and total nitrogen contents in inundated and non-inundated zones in southern Québec, Canada. *Catena* **113**:1-8.
- Sakan S**, Popović A, Anđelković I, Đorđević D (2016) Aquatic sediments pollution estimate using the metal fractionation, secondary phase enrichment factor calculation and used statistical methods. *Environmental Geochemistry and Health* **38**(3):855-867.
- Samecka-Cymerman A**, Stankiewicz A, Kolon K, Kempers A.J (2009) Self-organizing feature map (neural networks) as a tool to select the best indicator of road traffic pollution (soil, leaves or bark of *Robinia pseudoacacia* L.). *Environmental pollution* **157**(7):2061-2065.
- Samreen T**, Shah H.U, Ullah S, Javid M (2017) Zinc effect on growth rate, chlorophyll, protein and mineral contents of hydroponically grown mungbeans plant (*Vigna radiata*). *Arabian Journal of Chemistry* **10**:S1802-S1807.
- Sasmaz A**, Sasmaz M (2009) The phytoremediation potential for strontium of indigenous plants growing in a mining area. *Environmental and Experimental Botany* **67**:139-144.
- Sawidis T**, Breuste J, Mitrović M, Pavlović P, Tsigaridas K (2011) Trees as bioindicators of heavy metal pollution in three European cities. *Environmental Pollution* **159**:3560-3570.
- Sæbø A**, Popek R, Nawrot B, Hanslin H.M, Gawronska H, Gavronski S.W (2012) Plant species differences in particulate matter accumulation on leaf surfaces. *Science of the Total Environment* **427-428**:347-354.
- Sæbø A**, Hanslin H.M, Torp T, Lierhagen S, Gawronska H, Gavronski S.W, Dzierzanowski K (2015) Chemical composition of vegetation along urbanisation gradients in two European cities. *Environmental Pollution* **198**:116-125.
- Scheffer K**, Stach W, Vardakis F (1978) Über die verteilung der schwermetallen eisen, mangan, kupfer und zink in sommergesternpflanzen, *Landwirtsch Forsch* **1**:156.
- Scheffer K**, Stach W, Vardakis F (1979) Über die verteilung der schwermetallen eisen, mangan, kupfer und zink in sommergesternpflanzen, *Landwirtsch Forsch* **2**:326.
- Schmidt S.B**, Jensen P.E, Husted S (2016) Review: manganese deficiency in plants: the impact on photosystem II. *Trends in Plant Science* **21**(7):622-623.

- Schmitt M**, Watanabe T, Jansen S (2016) The effects of aluminium on plant growth in a temperate and deciduous aluminium accumulating species. *AoB PLANTS* **8**:plw065.
- Schreck E**, Foucault Y, Sarret G, Sobanska S, Cécillon L, Casrtec-Rouelle M, Uzu G, Dumat C (2012) Metal and metalloid foliar uptake by various plant species exposed to atmospheric industrial fallout: mechanisms involved for lead. *Science of the Total Environment* **427-428**:253-262.
- Sekretarijat za zaštitu životne sredine** (2013a) Kvalitet životne sredine grada Beograda u 2012 godini. Gradski Zavod za javno zdravlje, Beograd.
- Sekretarijat za zaštitu životne sredine** (2013b) Program zaštite životne sredine grada Beograda. Sekretarijat za zaštitu životne sredine, Institut Kirilo Savić, Beograd.
- Sen A**, Khan I, Kundu D, Das K, Datta J.A (2017) Ecophysiological evaluation of tree species for biomonitoring of air quality and identification of air pollution-tolerant species. *Environmental Monitoring and Assessment* **189**:262.
- Seregin I.V**, Kozhevnikova A.D (2004) Strontium transport, distribution, and toxic effects on maize seedling growth. *Russian Journal of Plant Physiology* **51(2)**:215–221.
- SG RS** (1994) Pravilnik o dozvoljenim količinama opasnih i štetnih materija u zemljištu i vodi za navodnjavanje i metodama njihovog ispitivanja. “Službeni glasnik RS”, br. 23/94. Ministarstvo poljoprivrede, šumarstva i vodoprivrede u sporazumu sa Ministarstvom zaštite životne sredine Republike Srbije, Beograd.
- SG RS** (2010) Uredba o programu sistemskog praćenja kvaliteta zemljišta, indikatorima za ocenu rizika od degradacije zemljišta i metodologiji za izradu remedijacionih programa. “Sl. glasnik RS”, br. 88/2010. Ministarstvo poljoprivrede i zaštite životne sredine Republike Srbije, Beograd.
- SG RS** (2010/2013) Uredba o uslovima za monitoring i zahtevima kvaliteta vazduha. “Službeni glasnik RS”, br. 11/10; 75/10; 63/13.
- Shacklette H.T**, Erdman J.A, Harms T.F (1978) Trace elements in plants foodstuffs. In: Oehme FW (ed) Toxicity of heavy metals in the environment, Part I. New York, Marcel Dekker Inc, pp 25.
- Shahbaz M**, Ravet K, Peers G, Pilon M (2015) Prioritization of copper for the use in photosynthetic electron transport in developing leaves of hybrid poplar. *Frontiers in Plant Science* **6**:1-12.

- Shahid M**, Shamshad S, Rafiq M, Khalid S, Bibi I, Niazi N.K, Dumat C, Rashid M.I (2017) Chromium speciation, bioavailability, uptake, toxicity and detoxification in soil-plant system: A review. *Chemosphere* **178**:513-533.
- Shahzad B**, Tanveer M, Hassan W, Shah A.N, Anjum S.A, Cheema S.A, Ali I (2016) Lithium toxicity in plants: Reasons, mechanisms and remediation possibilities A review. *Plant Physiology and Biochemistry* **107**:104-115.
- Shanker A.K**, Djanaguiraman M, Sudhagar R, Chandrashekar C.N, Pathmanabhan G (2004) Differential antioksidative response of ascorbate glutathione pathway enzymes and metabolites in chromium speciation stress in green gram roots. *Plant Science* **166**:1035-1043.
- Shanker A.K**, Cervantes C, Loza-Tavera H, Avudainayagam S (2005) Chromium toxicity in plants. *Environment International* **31**:739-753.
- Sharma R.K**, Agrawal M, Marshall F.M (2009) Heavy metals in vegetables collected from production and market sites of a tropical urban area of India. *Food and Chemical Toxicology* **47**:583-591.
- Sharma P**, Kumar S, Garg S, Ghosh C (2015) Analyzing the effect of atmospheric trace elements on selected plant species. *Environmental Earth Science* **74**:7793-7800.
- Siebielec G**, Chaney R.L (2006) Manganese fertilizer requirement to prevent manganese deficiency when liming to remediate Ni-phytotoxic soils. *Communications in Soil Science Plant Analysis* **37**:1-17.
- Simon E**, Braun M, Vidic A, Bogyó D, Fábián I, Tóthmérész B (2011) Air pollution assessment based on elemental concentration of leaves tissue and foliage dust along an urbanization gradient in Vienna. *Environmental Pollution* **159**:1229-1233.
- Simon E**, Baranyai E, Braun M, Cserhádi C, Fábián I, Tóthmérész B (2014) Elemental concentrations in deposited dust on leaves along urbanization gradient. *Science of the Total Environment* **490**:514-520.
- Sinha S**, Saxena R, Singh S (2005) Chromium induced lipid peroxidation in the plants of *Pistia stratiotes* L.: role of antioxidants and antioxidant enzymes. *Chemosphere* **58**:595-604.
- Singh S**, Tripathib D.K, Singha S, Sharmac S, Dubey N.K, Chauhana D.K, Vaculíke M (2017) Toxicity of aluminium on various levels of plant cells and organism: A review. *Environmental and Experimental Botany* **137**:177-193.

- Službeni list grada Smedereva** (2011) Prostorni plan grada Smederevo 2010-2015-2020. Godina IV, broj 3, knjiga I.
- Stamoulis K.C**, Assimakopoulos P.A, Ioannides K.G, Johnson E, Soucacos P.N (1999) Strontium-90 concentration measurement in human bones and teeth in Greece. *The Science of the Total Environment* **229**:165-82.
- Storey B.J.** (2007) Zinc. In: Barker A.V, Pilbeam D.J (eds) Handbook of plant nutrition. CRC Press, Taylor & Francis Group, LLC, Boca Raton, FL, pp 411-430.
- Sutherland R.A** (2010) BCR-701: a review of 10-years of sequential extraction analyses. *Analytica Chimica Acta* **680**:10-20.
- Šerbula S**, Miljković D.Đ, Kovačević R.M, Ilić A.A (2012) Assessment of airborne heavy metal pollution using plant parts and topsoil. *Ecotoxicology and Environmental Safety* **76**:209-214.
- Šerbula S.M**, Kalinovic T.S, Ilic A.A, Kalinovic J.V, Steharnik M.M (2013) Assessment of airborne heavy metal pollution using *Pinus* spp. and *Tilia* spp. *Aerosol Air Quality Research* **13**:563-573.
- Šućur K.M**, Aničić M.P, Tomašević M.N, Antanasijević D.Z, Perić-Grujić A.A, Ristić M.DJ (2010) Urban deciduous tree leaves as biomonitors of trace element (As, V and Cd) atmospheric pollution in Belgrade, Serbia. *Journal of the Serbian Chemical Society* **75**:1453-1461.
- Tanaka M**, Fujiwara T (2008) Physiological roles and transport mechanisms of boron: perspectives from plants. *Pflügers Archiv - European Journal of Physiology* **456**:671-677.
- Tariq M**, Mott C.J.B (2007) The significance of boron in plant nutrition and environment-A review. *Journal of Agronomy* **6(1)**:1-10.
- Tchounwou P.B**, Yedjou C.G, Patlolla A.K, Sutton D.J (2012) Heavy metals toxicity and the environment. *Molecular, Clinical and Environmental Toxicology* **101**:133-164.
- Tessier A**, Cambell P.G.C, Bisson M (1979) Sequential extraction procedure for the speciation of particulate metals. *Analytical Chemistry* **51**:844-851.
- Thornton I.** (1991) Metal contamination of soils in urban areas. In: Bullock P, Gregory P.J (eds) Soils in the urban environment, Oxford, Blackwell, pp 47-75.

- Tokalioglu Ş**, Yilmaz V, Kartal Ş (2010) An assessment on metal sources by multivariate analysis and speciation of metals in soil samples using the BCR sequential extraction procedure. *Clean - Soil, Air, Water* **38(8)**:713-718.
- Tomašević M**, Gržetić I, Vukmirović Z (2002) The SEM - EDX used for identification of particles deposited to tree leaves. Scientific meetings - Serbian academy of sciences and arts, Department of mathematics, physics and geo-sciences, 98(1), Applied physics in Serbia-APS, 279-282.
- Tomašević M**, Vukmirović Z, Rajšić S, Tasić M, Stevanović B (2005) Characterization of trace metal particles deposited on some deciduous tree leaves in an urban area. *Chemosphere* **61**:753-760.
- Tomašević M**, Vukmirović Z, Rajšić S, Tasić M, Stevanović B (2008) Contribution to biomonitoring of some trace metals by deciduous tree leaves in urban areas. *Environmental Monitoring and Assessment* **137**:392-401.
- Tomašević M**, Aničić M, Jovanović Lj, Perić-Grujić A, Ristić M (2011) Deciduous tree leaves in trace elements biomonitoring: A contribution to methodology *Ecological Indicators* **11**:1689-1695.
- Tripathi A.K**, Gautam M (2007) Biochemical parameters of plants as indicators of air pollution. *Journal of Environmental Biology* **28(1)**:127-132.
- Tsalidas C.D**, Yassoglou N, Kosmas C.S, Kallianou C.H (1994) The availability of soil boron fractions to olive trees and barley and their relationships to soil properties. *Plant and Soil* **162**:211-217.
- Unkašević M** (1994) Klima Beograda. Naučna knjiga. Beograd. pp 122.
- USEPA** (United States Environmental Protection Agency) (1996) Method 3052. Microwave assisted acid digestion of siliceous and organically based matrices, in Test methods for evaluating solid waste, SW 846, USEPA, Washington, DC.
- USEPA** (United States Environmental Protection Agency) (2002) Guidelines for the application of SEM/EDX analytical techniques to particulate matter samples. EPA-600/R-02-070, Washington, DC.
- US Soil Survey Staff** (1993) Selected chemical properties. In: Soil survey manual. Handbook 18. Washington: Soil Conservation Service, United States Department of Agriculture, pp 46-155.

- Vegter J** (2007) Urban soils-an emerging problem? *Journal of soils and Sediments* **7**(2):63.
- Van Bohemen H.D,** Janssen Van de Laak W.H.J (2003) The influence of roads infrastructure and traffic on soil, water, and air quality. *Environmental Management* **31**(1):50-68.
- Vegter J** (2007) Urban soils-an emerging problem? *Journal of soils and Sediments* **7**(2):63.
- Vujović Z,** Aleksić J, Dragosavljević Z, Adžemović M, Đorđević S, Ninković M, Cvetković D, Aleksić S, Arandelović M, Aleksića D (2013) Revizija lokalnog ekološkog akcionog plana grada Smederevo. Gradska uprava grad Smederevo.
- Vukičević E** (1996) Dekorativna dendrologija. Šumarski fakultet, Univerziteta u Beogradu, 585 pp.
- Wang J.Z,** Tao S.T, Qi K.J, Wu J, Wu H.Q, Zhang S.L (2011) Changes in photosynthetic properties and antioxidative system of pear leaves to boron toxicity. *African Journal of Biotechnology* **10**(85):19693-19700.
- Wang D,** Wan C.Y, Wang W.Q, Hou J.L, Li W.D, Wei S.l, Zo J.B (2012) Effects of manganese deficiency on growth and contents of active constituents of *Glycyrrhiza uralensis* Fisch. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* **43**(17):2218-2227.
- Wei B,** Yang L (2010) A review of heavy metal contaminations in urban soils, urban road dusts and agricultural soils from China. *Microchemical Journal* **94**:99-107.
- Wellburn A.R** (1994) The spectral determination of chlorophylls *a* and *b*, as well as total carotenoids using various solvents with spectrophotometers of different resolution. *Journal of Plant Physiology* **144**:307-313.
- Wenrong C,** Xiaoe Y, Zhenli H, Ying F, Fenghong H (2008) Differential changes in photosynthetic capacity, 77 K chlorophyll fluorescence and chloroplast ultrastructure between Zn-efficient and Zn-inefficient rice genotypes (*Oryza sativa*) under low zinc stress *Physiologia Plantarum* **132**:89-101.
- West H.K,** Davies S.M, Mogan J.A, Herbert R.J (2001) The Relationship between Sr and Ca accumulation in the major constituents of a terrestrial community resident on a celestitic (SrSO₄) soil in S.W. England. *European Journal of Soil Science* **37**:333-336.
- WHO (2004)** Concise international chemical assessment document, 63. Manganese and its compounds: environmental aspects. World Health Organization, Geneva.

- WHO (2005)** Air guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide-global update 2005-Summary of risk assessment. World Health Organization, Geneva.
- Wilcke W**, Müller S, Kanchanakool N, Zech W (1998) Urban soil contamination in Bangkok: heavy metal and aluminium partitioning in topsoils. *Geoderma* **86(3)**:211-228.
- Wong C.S.C**, Li X, Thornton I (2006) Urban environmental geochemistry of trace metals. *Environmental pollution* **142**:1-16.
- WRB** (2006) World reference base for soil resources 2006. World soil resources reports No. 103. FAO, Rome, Italy.
- Wuana R.A**, Okieimen F.E (2011) Heavy metals in contaminated soils: A review of sources, chemistry, risks and best available strategies for remediation. *International Scholarly Research Network Ecology* ID402647, 20 pp.
- Xu J.M**, Wang K, Bell R.W, Yang Y.A, Huang L.B (2001) Soil boron fractions and their relationship to soil properties. *Soil Science Society of America Journal* **65**:133-138.
- Yalamanchali B.C** (2012) Lithium, an emerging environmental contaminant, is mobile in the soil-plant system. A thesis submitted in partial fulfilment of the requirements for the Degree of Master of Applied Science at Lincoln University.
- Yamasaki H**, Pilon M, Shikanai T (2008) How do plants respond to copper deficiency? *Plant Signaling & Behaviour* **3(4)**:231-232.
- You M**, Huang Y, Lu J, Li C (2016) Fractionation characterizations and environmental implications of heavy metal in soil from coal mine in Huainan, China. *Environmental Earth Science* **75**:78.
- Yruela I** (2005) Copper in plants. *Brazilian Journal of Plant Physiology* **17(1)**:145-156.
- Yutong Z**, Qing X, Shenggao L (2016) Chemical fraction, leachability, and bioaccessibility of heavy metals in contaminated soils, Northeast China. *Environmental Science and Pollution Research* **23**:24107-24114.
- Zeng F**, Ali S, Zhang H, Ouyang Y, Qiu B, Wu F, Zhang G (2011) The influence of pH and organic matter content in paddy soil on heavy metal availability and their uptake by rice plants. *Environmental Pollution* **159**:84-91.

Zerrari N, Moustauoi D, Verloo M (1999) The various forms of soil boron: importance, effect of soil characteristics and plant availability. *Agrochimica* **43(2)**:77-88.

Zhao L, Xu Y, Hou H, Shangguan Y, Li F (2014) Source identification and health risk assessment of metals in urban soils around the Tanggu chemical industrial district, Tianjin, China. *Science of the Total Environment* **468-469**:654-662.

Zhao J, Wang W, Zhou H, Wang R, Zhang P, Wang H, Pan X, Xu J (2017) Manganese toxicity inhibited root growth by disrupting auxin biosynthesis and transport in *Arabidopsis*. *Frontiers in Plant Science* **8**:272.

BIOGRAFIJA

Dragana Pavlović, devojčko Škipina, rođena je u Travniku 05.06.1980. godine. Diplomirala je 2008. godine na Hemijskom fakultetu Univeziteta u Beogradu, smer Biohemija. Posle završenih osnovnih studija upisala je poslediplomske master studije na Hemijskom fakultetu, smer Biohemija. Master rad pod naslovom “Efekti protamin-sulfata na izolovanom uterusu pacova pretretiranim indometacinom“ uradila je na Odeljenju za fiziologiju Instituta za biološka istraživanja “Siniša Stanković”. Školske 2010/2011 godine upisala je doktorske studije na Hemijskom fakultetu Univerziteta u Beogradu, studijska grupa Biohemija. Tokom rada bila je na porodiljskim odsustvima u trajanju od dve godine.

Dragana Pavlović je zaposlena od 2011. godine kao istraživač-pripravnik u Odeljenju za ekologiju Instituta za biološka istraživanja “Siniša Stanković”. Zvanje istraživač saradnik stekla je 2012. godine, a reizabrana je 2015. godine.

Od zasnivanja radnog odnosa u Institutu za biološka istraživanja “Siniša Stanković”, Dragana Pavlović angažovana je 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” (2011-2015), pod rukovodstvom dr Pavla Pavlovića. Takođe, angažovana je na projektu FP7 programa EC, pod naslovom “GLOBAQUA- Managing the effects of multiple stressors on aquatic ecosystems under water scarcity”, br. 603629 (2014-2019), na projektu „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) i na projektu „Etnobotanička istraživanja diverziteta i upotrebe lekovitih biljaka na prostoru Stare planine (Srbija)“, Srbija šume ŠG “Piroć”, ugovor br. 176/2017-8. Isto tako, učestvovala je i u realizaciji projekta “Potencijalni rizici od prisustva teških metala, radionuklida i organskih polutanata u zemljištu, vodama i hrani u rubnim delovima Grada Beograda“, Sekretarijata za zaštitu životne sredine Grada Beograda, br. B-041 4011-22 (2013-2014) i projekta “Ecological Baseline Report for the Timok Gold Project (Estern Serbia)”, Avala Resources Belgrade, br. 01-484 i 91/13, čiji je nosilac bio Institut za biološka istraživanja „Siniša Stanković”.

Изјава о ауторству

Име и презиме аутора Драгана Павловић

Број индекса ДБ 03/2010

Изјављујем

да је докторска дисертација под насловом

Хемизам потенцијално токсичних елемената у земљишту и њихов утицај на функционисање врста *Betula pendula* Roth., *Acer pseudoplatanus* L. и *Acer platanoides* L. у урбаним срединама неколико индустријских центара у Србији

- резултат сопственог истраживачког рада;
- да дисертација у целини ни у деловима није била предложена за стицање друге дипломе према студијским програмима других високошколских установа;
- да су резултати коректно наведени и
- да нисам кршио/ла ауторска права и користио/ла интелектуалну својину других лица.

Потпис аутора

У Београду, _____

Изјава о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада

Име и презиме аутора Драгана Павловић

Број индекса ДБ 03/2010

Студијски програм Доктор биохемијских наука

Наслов рада Хемизам потенцијално токсичних елемената у земљишту и њихов утицај на функционисање врста *Betula pendula* Roth., *Acer pseudoplatanus* L. и *Acer platanoides* L. у урбаним срединама неколико индустријских центара у Србији

Ментори: др Иван Гржетић, редовни професор, Хемијски факултет Универзитета у Београду и

др Павле Павловић, научни саветник, Институт за биолошка истраживања „Синиша Станковић“ Универзитета у Београду

Изјављујем да је штампана верзија мог докторског рада истоветна електронској верзији коју сам предао/ла ради похрањена у **Дигиталном репозиторијуму Универзитета у Београду**.

Дозвољавам да се објаве моји лични подаци везани за добијање академског назива доктора наука, као што су име и презиме, година и место рођења и датум одбране рада.

Ови лични подаци могу се објавити на мрежним страницама дигиталне библиотеке, у електронском каталогу и у публикацијама Универзитета у Београду.

Потпис аутора

У Београду, _____

Изјава о коришћењу

Овлашћујем Универзитетску библиотеку „Светозар Марковић“ да у Дигитални репозиторијум Универзитета у Београду унесе моју докторску дисертацију под насловом:

Хемизам потенцијално токсичних елемената у земљишту и њихов утицај на функционисање врста *Betula pendula* Roth., *Acer pseudoplatanus* L. и *Acer platanoides* L. у урбаним срединама неколико индустријских центара у Србији

која је моје ауторско дело.

Дисертацију са свим прилозима предао/ла сам у електронском формату погодном за трајно архивирање.

Моју докторску дисертацију похрањену у Дигиталном репозиторијуму Универзитета у Београду и доступну у отвореном приступу могу да користе сви који поштују одредбе садржане у одабраном типу лиценце Креативне заједнице (Creative Commons) за коју сам се одлучио/ла.

1. Ауторство (CC BY)
2. Ауторство – некомерцијално(CC BY-NC)
- ③ Ауторство – некомерцијално – без прерада(CC BY-NC-ND)
4. Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима (CC BY-NC-SA)
5. Ауторство – без прерада(CC BY-ND)
6. Ауторство – делити под истим условима(CC BY-SA)

(Молимо да заокружите само једну од шест понуђених лиценци.

Кратак опис лиценци је саставни део ове изјаве).

Потпис аутора

У Београду, _____

1. **Ауторство.** Дозвољавање умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце, чак и у комерцијалне сврхе. Ово је најслободнија од свих лиценци.

2. **Ауторство – некомерцијално.** Дозвољавање умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела.

3. **Ауторство – некомерцијално – без прерада.** Дозвољавање умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела. У односу на све остале лиценце, овом лиценцом се ограничава највећи обим права коришћења дела.

4. **Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима.** Дозвољавање умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада.

5. **Ауторство – без прерада.** Дозвољавање умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела.

6. **Ауторство – делити под истим условима.** Дозвољавање умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада. Слична је софтверским лиценцама, односно лиценцама отвореног кода.