

UNIVERZITET U BEOGRADU

BIOLOŠKI FAKULTET

Marija M. Pavlović

**EKOFIZIOLOŠKE ADAPTACIJE VRSTA
PINUS NIGRA ARN., *AESCLUS
HIPPOCASTANUM* L. I *PLATANUS
ACERIFOLIA* (AIT.) WILLD. U URBANIM
SREDINAMA SA RAZLIČITIM IZVORIMA
ZAGAĐENJA**

doktorska disertacija

Beograd, 2018. godine

UNIVERSITY OF BELGRADE

FACULTY OF BIOLOGY

Marija M. Pavlović

**ECOPHYSIOLOGICAL ADAPTATIONS
OF *PINUS NIGRA* ARN., *AESCLUS
HIPPOCASTANUM* L. AND *PLATANUS
ACERIFOLIA* (AIT.) WILLD. SPECIES IN
URBAN ENVIRONMENTS WITH
DIFFERENT SOURCES OF POLLUTION**

Doctoral Dissertation

Belgrade, 2018

MENTORI:

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

2. **dr Tamara Rakić, vanredni profesor**, Univerzitet u Beogradu, Biološki fakultet

ČLAN KOMISIJE:

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

Datum odbrane: _____

Mom anđelu...

Živim za naš ponovan susret

Zahvalnica

Eksperimentalni deo doktorske disertacije je urađen u okviru projekta osnovnih naučnih 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.

Veliku zahvalnost dugujem svom mentoru dr Miroslavi Mitrović, naučnom savetniku Instituta za biološka istraživanja „Siniša Stanković”, Univerziteta u Beogradu, na dragocanim savetima, stručnoj i ličnoj pomoći, ali i bezrezervnoj podršci tokom izrade ove doktorske disertacije, kao i tokom celokupne naše saradnje.

Takođe bih želela da se zahvalim mentoru prof dr Tamari Rakić na nesebično pruženoj pomoći, korisnim primedbama, savetima i sugestijama, ali i na ohrabrenju i ukazanom strpljenju tokom savladavanja svih prepreka u izradi doktorske disertacije.

Posebnu zahvalnost dugujem dr Pavlu Pavloviću, naučnom savetniku Instituta za biološka istraživanja „Siniša Stanković”, Univerziteta u Beogradu, na dragocanim primedbama, smernicama i savetima, koji je svojim velikim iskustvom i znanjem omogućio da ova disertacija dobije svoj konačni oblik.

Mojoj Dragani Pavlović, pre svega velikom prijatelju, zahvaljujem za sve trenutke, savete, ohrabrenja, podršku i nesebično deljenje znanja i ljudskosti svih ovih godina. Hvala ti što si tu za mene i što me vraćaš na pravi kolosek. Bez tebe sve ovo ne bi bilo izvodljivo.

Iskrenu zahvalnost dugujem svim kolegama i kolegamicama sa projekta koji su mi pružali podršku u svim fazama izrade ove doktorske disertacije.

Najveću zahvalnost dugujem mojim roditeljima i porodici čija su bezgranična ljubav, snaga i bezrezervna podrška celog života bili moj vetar u leđa, i koji su me naučili da istrajem u svim životnim bitkama. Hvala vam što ste uvek verovali i što uvek verujete u mene.

Ovu disertaciju posvećujem mojim roditeljima. Ovo je vaš uspeh koliko je i moj. Volim vas.

... Autor

EKOFIZIOLOŠKE ADAPTACIJE VRSTA *PINUS NIGRA* ARN., *AESCULUS HIPPOCASTANUM* L. I *PLATANUS ACERIFOLIA* (AIT.) WILLD. U URBANIM SREDINAMA SA RAZLIČITIM IZVORIMA ZAGAĐENJA

SAŽETAK

Urbana staništa su pod snažnim antropogenim uticajem i karakteriše ih intenzivno zagađenje vazduha, vode i zemljišta materijama poreklom iz različitih stacionarnih i mobilnih izvora. Specifična vrsta polutanata u ovim sredinama su metali koji se zbog svoje toksičnosti i biološke nerazgradivosti akumuliraju u zemljištu. Istraživanja u okviru ove disertacije su obavljena u urbanim parkovima u Pančevu, Smederevu, Obrenovcu i Beogradu koji su izloženi zagađivanju hemijskim elementima uključujući toksične metale poreklom iz različitih izvora. Obuhvatala su analize biljaka, kao i zemljišta na kojima rastu. Za ekofiziološka istraživanja odabrane su tri drvenaste vrste biljaka koje se dugi niz godina uspešno gaje na urbanim staništima: *Pinus nigra* Arn., *Aesculus hippocastanum* L. i *Platanus acerifolia* (Ait.) Willd. Osnovni cilj doktorske disertacije je bio definisanje faktora limitirajućih za razvoj biljaka, kao i ispitivanje njihovih ekofizioloških karakteristika i adaptivnog odgovora. Posebna pažnja je posvećena problemu zagađivanja metalima i metaloidima, njihovoj mobilnosti i dostupnosti biljkama, kao i njihovom uticaju na fiziološke procese u biljkama (efikasnost fotosinteze i sadržaj fotosintetičkih pigmenata).

Ispitivanja fizičko-hemijskih karakteristika zemljišta su pokazala da urbana zemljišta karakteriše visok udeo frakcije peska, nizak sadržaj higroskopne vlage, organskog ugljenika i azota, alkalna reakcija, ali i povoljan odnos C/N za mineralizaciju organske materije i oslobađanje minerala esencijalnih za biljke. Navedeni limitirajući faktori (toksičan sadržaj B, Cr, Ni i Pb izmerenih u zemljištu urbanih parkova) u sinergističkom delovanju sa visokim temperaturama i malom količinom padavina u značajnom delu ispitivane vegetacijske sezone su uticali na funkcionisanje ispitivanih vrsta biljaka na urbanim staništima.

Analiza sadržaja hemijskih elemenata u četinama i listovima je pokazala da postoje razlike u sadržaju elemenata između vrsta, ali i da su ispitivane vrste izložene toksičnim koncentracijama B i Sr i istovremenom deficitu esencijalnih elemenata Cu, Mn i Zn. Generalno, kod *P. nigra*, *A. hippocastanum* i *P. acerifolia* postoje razlike u fotosintetičkoj efikasnosti, sadržaju pigmenata i u morfološkim oštećenjima listova. Uprkos navedenom, sve ispitivane vrste, pre svega listopadne *A. hippocastanum* i *P. acerifolia* su pokazale visok potencijal za toleranciju stresa zagađivanja toksičnim metalima i metaloidima, što ih čini pogodnim za sadnju u urbanim parkovima i industrijskim zonama, pa kao takve predstavljaju značajan resurs za dalja istraživanja.

Ključne reči: urbana staništa, urbana zemljišta, BCR sekvencijalna ekstrakcija, metali, metaloidi, *Pinus nigra* Arn., *Aesculus hippocastanum* L., *Platanus acerifolia* (Ait.) Willd., efikasnost fotosinteze, fotosintetički pigmenti

Naučna oblast: Biologija

Uža naučna oblast: Ekologija, biogeografija i zaštita životne sredine

UDK broj: 574.24:504.5(4971.11)(043.3)

ECOPHYSIOLOGICAL ADAPTATIONS OF *PINUS NIGRA* ARN., *AESCULUS HIPPOCASTANUM* L. AND *PLATANUS ACERIFOLIA* (AIT.) WILLD. SPECIES IN URBAN ENVIRONMENTS WITH DIFFERENT SOURCES OF POLLUTION

SUMMARY

Urban habitats are under strong anthropogenic influence and are often characterized by intense air, water and soil pollution originating from various stationary and mobile sources. The specific type of pollutants in these habitats are metals that due to their toxic, persistent and nonbiodegradable properties accumulate in the soil. Research was conducted in urban parks in Pančevo, Smederevo, Obrenovac and Belgrade that are exposed to pollution by chemical elements, including toxic metals originating from various sources. Research included plant and soil analyses. For ecophysiological research, three woody plant species that have been successfully grown in urban areas were selected: *Pinus nigra* Arn., *Aesculus hippocastanum* L. i *Platanus acerifolia* (Ait.) Willd. The central aim and subject of this doctoral dissertation was to define the factors that limit the functioning of plants, and to determine their ecophysiological characteristics and adaptive responses. Special attention was paid to the problem of pollution by toxic metals and metalloids, their mobility and availability to plants, as well as their impact on physiological processes in plants (photosynthesis efficiency and photosynthetic pigment content).

Analyses of the physical and chemical properties of the soils showed that urban soils are characterized by high proportion of a sand fraction, a low content of hygroscopic moisture, organic carbon and nitrogen and an alkaline reaction, but also a favorable C/N ratio for mineralization of organic matter and release of essential minerals for plants. The limiting factors (toxic levels of B, Cr, Ni and Pb measured in soils from urban parks) in synergy with high temperatures and low precipitation during a significant part of the vegetation season, influenced the functioning of the examined plant species in urban habitats.

Analysis of the chemical element contents in pine needles and leaves revealed species differences, and also that the examined species were exposed to toxic concentrations of B and Sr and, at the same time, deficits of the essential elements, Cu, Mn and Zn. Generally, in *P. nigra*, *A. hippocastanum* and *P. acerifolia*, differences in photosynthetic efficiency, pigment contents and in morphological symptoms of injury were observed. In spite of the above, all the investigated species, first of all *A. hippocastanum* and *P. acerifolia*, exhibited a high potential for tolerance to stress pollution by toxic metals and metalloids, which makes them suitable for planting in urban parks and industrial zones. These species represent a significant resource for further research.

Key words: urban habitat, urban soil, BCR sequential extraction, metals, metalloids, *Pinus nigra* Arn., *Aesculus hippocastanum* L., *Platanus acerifolia* (Ait.) Willd., photosynthetic efficiency, photosynthetic pigments

Scientific area/field: biology

Narrow scientific field: ecology, biogeography and environmental protection

UDC number: 574.24:504.5(4971.11)(043.3)

SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
2. OPŠTE KARAKTERISTIKE ISTRAŽIVANIH LOKALITETA	7
2.1 Grad Pančevo.....	7
2.2 Grad Smederevo	10
2.3 Opština Obrenovac	13
2.4 Grad Beograd.....	18
2.5 OPIS I KARAKTERISTIKE ISTRAŽIVANIH URBANIH PARKOVA	22
2.5.1 Pančevo – „Narodna bašta”	23
2.5.2 Smederevo – „Park Narodnih Heroja“	23
2.5.3 Opština Obrenovac – „Trg dr Zorana Đinđića”	23
2.5.4 Beograd – „Park Pionir”	24
2.5.5 Beograd – „Topčiderski park”	24
3. OPŠTE KARAKTERISTIKE ISPITIVANIH DRVENASTIH VRSTA BILJAKA .	26
3.1 Crni bor (<i>Pinus nigra</i> Arn.)	26
3.2 Divlji kesten (<i>Aesculus hippocastanum</i> L.).....	27
3.3 Javorolisni platan (<i>Platanus acerifolia</i> (Ait.) Willd.).....	29
4. MATERIJAL I METODE	31
4.1 Uzorkovanje i analiza zemljišta.....	31
4.2 Uzorkovanje i analiza biljnog materijala.....	34
4.3 Statistička obrada podataka	36
5. REZULTATI	37
5.1 FIZIČKO-HEMIJSKE KARAKTERISTIKE URBANIH ZEMLJIŠTA.....	37
5.1.1 Fizičke karakteristike urbanih zemljišta	37
5.1.2 Hemijske karakteristike urbanih zemljišta	38
5.1.3 Sadržaj hemijskih elemenata u urbanim zemljištima	39
5.1.4 Odnos između hemijskih elemenata u urbanim zemljištima	46
5.1.5 Poreklo hemijskih elemenata u urbanim zemljištima.....	49
5.1.6 Mobilnost i biodostupnost hemijskih elemenata u urbanim zemljištima	52
5.2 SADRŽAJ HEMIJSKIH ELEMENATA U KORI I LISTOVIMA DRVENASTIH VRSTA BILJAKA	57
5.2.1 Prostorna i vremenska distribucija sadržaja hemijskih elemenata u kori drvenastih vrsta biljaka.....	57
5.2.2 Razlike između drvenastih vrsta na osnovu sadržaja hemijskih elemenata u kori.....	77
5.2.3 Razlike između lokaliteta na osnovu sadržaja hemijskih elemenata u kori drvenastih vrsta.....	78

5.2.4 Odnos između koncentracija hemijskih elemenata u kori drvenastih vrsta biljaka i zemljištu u urbanim parkovima	80
5.2.5 Prostorna i vremenska distribucija sadržaja hemijskih elemenata u četinama/listovima drvenastih vrsta biljaka	81
5.2.6 Biokoncentracioni faktor (BCF) u četinama/listovima i kori drvenastih vrsta biljaka	106
5.2.7 Odnos između koncentracija hemijskih elemenata u četinama/listovima drvenastih vrsta biljaka i u zemljištu u urbanim parkovima.....	108
5.3 EFIKASNOST FOTOSINTEZE I SADRŽAJ FOTOSINTETIČKIH PIGMENATA U ČETINAMA I LISTOVIMA DRVENASTIH VRSTA BILJAKA	109
5.3.1 Sezonska dinamika efikasnosti fotosinteze drvenastih vrsta biljaka	109
5.3.2 Sezonske promene u količini fotosintetičkih pigmenata u četinama i listovima drvenastih vrsta biljaka.....	113
5.3.3 Razlike između drvenastih vrsta na osnovu sadržaja hemijskih elemenata, efikasnosti fotosinteze i sadržaja fotosintetičkih pigmenata	128
5.3.4 Razlike između lokaliteta na osnovu sadržaja hemijskih elemenata, efikasnosti fotosinteze i koncentracije fotosintetičkih pigmenata u drvenastim vrstama biljaka.....	130
5.4 MORFOLOŠKE PROMENE ČETINA I LISTOVA DRVENASTIH VRSTA BILJAKA	132
5.4.1 Simptomi oštećenja četina i listova drvenastih vrsta biljaka.....	132
5.4.2 Simptomi oštećenja struktura periferijskih zaštita četina i listova i karakterizacija atmosferskih čestica deponovanih na njihovoj površini	137
6. DISKUSIJA	154
6.1 Fizičke i hemijske karakteristike urbanih zemljišta	155
6.2 Sadržaj i ponašanje hemijskih elemenata u urbanim zemljištima i drvenastim vrstama biljaka.....	159
6.3 Efikasnost fotosinteze i fotosintetički pigmenti u četinama i listovima drvenastih vrsta biljaka	191
6.4 Morfološke promene i simptomi oštećenja četina i listova drvenastih vrsta biljaka	197
7. ZAKLJUČCI	204
8. LITERATURA	211

1. UVOD

Staništa velikih gradova i industrijskih kompleksa se karakterišu delovanjem brojnih stresnih faktora kao što su zagađivanje vazduha, zemljišta i voda, formiranjem “gradskih ostrva topolte” sa karakterističnom mikroklimom i poremećajima u vodnom balansu i ciklusu kruženja nutrijenata. Polutanti u urbanim sredinama se emituju iz različitih antropogenih izvora, najčešće onih u kojima se sagorevaju fosilna goriva za proizvodnju energije poput termoelektrana i toplana, zatim iz industrijskih pogona metalske, hemijske i druge industrije, i saobraćaja (Fergusson 1990; Craul 1999; Bradl 2002; Oleksyn et al. 2007; Rossini Oliva and Fernández- Espinosa 2007; Rucandio et al. 2011; Tchounwou et al. 2012; Parzych and Jonczak 2014). Izduvne gasove poreklom iz saobraćaja čine gasoviti polutanti poput oksida azota (NO_x), sumpor dioksida (SO_2), ugljen monoksida (CO), ugljovodonika, isparljivih organskih jedinjenja, ali i krupne i fine čestice (PM_{10} , $\text{PM}_{2.5}$) za koje su vezani elementi u tragovima i teški metali (Kampa and Castanas 2008). Termin „teški metali“ se odnosi na elemente koji imaju gustinu veću od 5 g/cm^3 i tu spadaju metali i metaloidi koji se najčešće dovode u vezu sa zagađenjem, potencijalnom toksičnošću i ekotoksičnošću, ali takođe obuhvata i esencijalne elemente koji su neophodni organizmima u određenim koncentracijama (Adriano 2001). Teški metali Cd, Cr, Cu, Ni, Pb i Zn su od posebnog značaja za urbanu sredinu i čest su parametar u sistemu monitoringa kvaliteta vazduha (Mrvić et al. 2009). Ostaju u vazduhu izvesno vreme, ali se većina vremenom taloži na zemljište i biljke.

Biljke su efikasan filter atmosferskog zagađenja jer zadržavaju čestice, najčešće na površinama listovima zbog čega imaju značajnu ulogu u redukovanju količine finih, visoko-rizičnih respirabilnih čestica koje imaju toksične efekte na biljke, životinje i ljude (Beckett et al. 2000a; Aničić et al. 2011). U poređenju sa zeljastim, drvenaste vrste imaju značajno veći stepen tolerancije na promene u životnoj sredini, što je od velikog značaja u područjima sa intenzivnim antropogenim uticajem (Berlizov et al. 2007; Samecka-Cymerman et al. 2009; Aničić et al. 2011; Šerbula et al. 2013).

Urbana zemljišta predstavljaju značajan rezervoar antropogenog zagađenja, posebno teških metala koji ne podležu hemijskoj ili mikrobnjoj degradaciji (Adriano 2001; Kirpichtchikova et al. 2006; Wuana and Okieimen 2011). Zemljišta su osetljiva na efekte zagađenja metalima, jer se dugo vremena zadržavaju i akumuliraju u njima za

razliku od vodenih ekosistema ili vazduha u kojima se mešanjem vodenih i vazdušnih masa postiže određeno razblaženje (Adriano 2001; Pavlović et al. 2017c). Fizičke i hemijske osobine zemljišta utiču na mobilnost, biodostupnost i posledično potencijalnu toksičnost metala u životnoj sredini (Sheppard and Evenden 1988). Analiza ukupne koncentracije metala predstavlja korisnu ali nepotpunu metodu za procenu zagađenja zemljišta jer ne pruža dovoljno informacija o njihovoj mobilnosti i dostupnosti biljkama i drugim organizmima, odnosno o njihovom potencijalnom uticaju na životnu sredinu (Tokalioğlu et al. 2010; Sutherland 2010; Pavlović et al. 2018). U svrhu procene dostupnosti elemenata biljkama koriste se različite jednofazne i višefazne ekstrakcione procedure koje pružaju uvid o tipu i količini stabilnih i mobilnih formi metala i njihovoj dostupnosti što je neophodno za određivanje statusa potencijalnog zagađenja zemljišta (Tessier et al. 1979; Yuan et al. 2014; Islam et al. 2015; Pavlović et al. 2018).

Zagađivanje hemijskim elementima, uključujući teške metale nije problem vezan isključivo za urbane ekosisteme, jer se oni veoma lako mogu preneti na znatne udaljenosti od izvora emisije transportom atmosferskih čestica, vodom ili uključivanjem u lanac ishrane usvajanjem od strane biljaka, i na taj način mogu da izazovu kako akutna tako i hronična oštećenja u organizmima (Čeburnis and Steinnes 2000; Nagajyoti et al. 2010; Parzych and Jonczak 2014). U biljke elementi dospevaju putem vlažne i suve depozicije ili apsorpcijom iz zemljišta putem korenovog sistema. Teški metali poput Cu, Fe Mn i Zn su esencijalni za biljke i deluju stimulatивно u niskim koncentracijama ali u visokim mogu biti toksični (Kabata-Pendias and Pendias 2001; Grubin 2016). Esencijalni elementi imaju značajnu fiziološku i biohemijsku ulogu u biljkama jer učestvuju u biosintezi hlorofila i DNK, procesu fotosinteze, u redoks reakcijama u hloroplastima i mitohondrijama, metabolizmu šećera i vezivanju azota i dr. (Marschner 1993). U visokim koncentracijama, teški metali utiču na normalno odvijanje fizioloških procesa u biljkama. Lako se usvajaju od strane biljaka i predstavljaju stresne faktore za njihov metabolizam. Utiču na biljke na mnogim organizacionim i funkcionalnim nivoima u isto vreme i dovode do oštećenje morfo-anatomske strukture biljnih tkiva, njihove enzimske aktivnosti, deluju kao antimetaboliti, formiraju stabilne komplekse ili helate sa esencijalnim metabolitima, menjaju propustljivost membrana, zamenjuju važne strukturne ili elektrohemijski značajne elemente u ćeliji, a njihov uticaj se ogleda i u poremećaju nutritivnog statusa biljaka jer stupaju u aktivnu kompeticiju sa

esencijalnim nutrijentima (Rossini Oliva and Mingorance 2004; Mitrović et al. 2006; Rossini Oliva and Fernández-Espinosa 2007; Gajić et al. 2009; Nagajyoti et al. 2010; Seyyednejad et al. 2011; Gajić et al. 2016). U uslovima zagađenosti, rast biljaka je inhibiran, smanjena je produkcija biomase, smanjen je reproduktivni kapacitet, a biljke su podložnije dejstvu patogena (Nagajyoti et al. 2010; Seyyednejad et al. 2011). Biljke koje su hronično izložene dejstvu polutanata ih apsorbuju, akumuliraju i integrišu u svoja tkiva. U zavisnosti od koncentracije i dužine izloženosti polutantu, kao i biljne vrste, na biljkama mogu da se jave vidljiva oštećenja, koja u nekim slučajevima izostaju, iako biljke trpe različite promene na biohemijском nivou (Agbaire and Esiefarienrhe 2009; Seyyednejad et al. 2011). Nedostatak esencijalnih i/ili prekomerna količina potencijalno toksičnih elemenata može takođe da dovede do smanjenja broja listova i njihove lisne površine, što utiče na nedovoljnu apsorpciju sunčeve svetlosti i nižu produkciju biomase (Mitrović et al. 2006; Tiwari et al. 2006; Seyyednejad et al. 2011). U uslovima dugotrajne i kontinuirane izloženosti zagađenju teškim metalima, postoji povećan rizik od akumulacije strukturnih i funkcionalnih oštećenja biljaka, posebno kod drvenastih vrsta i to starijih individua koje tada imaju smanjenu funkciju u filtriranju polutanata i ublažavanju nepovoljnih uslova na urbanim staništima.

Većina biljaka pokazuje određeni nivo tolerancije na teške metale koji se zasniva na kompleksnim procesima usvajanja/izlučivanja, transporta/isključivanja i helatizacije metala (Viehweger 2014). Neke od strategija podrazumevaju izbegavanje usvajanja metala iz zemljišta ili njihovo isključivanje iz daljeg toka transporta do nadzemnih delova biljke, kao i usvajanje i vezivanje metala ili njihovo izolovanje u određenim ćelijskim strukturama, što može da izazove promene u homeostazi ćelije, da dovede do poremećaja u sintezi hlorofila *a* i *b*, efikasnosti fotosinteze, propustljivosti plazma membrane i dr. (Marchner 1995; Küpper et al. 2002; Mysliwa-Kurdziel et al. 2004; Pavlović et al. 2004; Gajić et al. 2009; Viehweger and Geipel 2010, Mitrović et al. 2012).

Upravo zbog vidljivih i merljivih efekta koje teški metali imaju na biljke već nekoliko decenija je široko rasprostranjeno njihovo korišćenje kao indikatora akutnog i hroničnog zagađenja zemljišta i vazduha u urbanim ekosistemima (Kozlov 2005; Samecka-Cymerman et al. 2009; Madejon et al. 2013). U tom smislu se mahovine i lišajevi smatraju najprikladnijim biomonitorima zagađenja teškim metalima zbog

njihove osetljivosti na zagađenje usled čega ih je sve manje u urbanim i industrijskim sredinama, a njihovo odsustvo je pouzdan indikator atmosferskog zagađenja. Zbog smanjene dostupnosti navedenih bioindikatora, korišćenje viših biljaka, posebno drvenastih vrsta, u svrhu biomonitoringa nivoa zagađivanja je dobilo na značaju (Bargagli 1998; Markert et al. 2003; Tomašević et al. 2008; Aničić et al. 2011; Rucandio et al. 2011; Sawidis et al. 2011; Šerbula et al. 2013). Hemijska analiza korenova, kore, listova i drugih biljnih tkiva je decenijama unazad najčešće korišćena metoda kao najpouzdanija za procenu uticaja polutanata na životnu sredinu (Schleppi et al. 2000; Kozlov et al. 2005; Samecka-Cymerman et al. 2009; Madejon et al. 2013; Pavlović et al. 2017b). Glavne prednosti korišćenja biljaka se ogledaju u dostupnosti i količini materijala za analizu, sveprisutnosti nekih rodova i jednostavnoj identifikaciji vrsta za ispitivanje, jednostavnom uzorkovanju i relativno ekonomičnoj i neinvazivnoj metodi koja može da se primeni u uslovima gde pristup tradicionalnim tehnikama i instrumentima konvencionalnog monitoringa iz tehničkih ili ekonomskih razloga nije moguć (Berlizov et al. 2007). Pored listova, i kora se zbog svoje strukture, poroznosti i kapaciteta za efikasnu akumulaciju i zadržavanje čestica aerosola smatra kvalitetnim indikatorom zagađenja vazduha (Wolterbeek and Bode 1995; Schulz et al. 1999; Berlizov et al. 2007; Sawidis et al. 2011). Sadržaj elemenata u kori zavisi od vlažne i suve depozicije iz atmosfere, morfo-anatomskih karakteristika kore specifične za vrstu, abiotičkih faktora, ali i od usvajanja elemenata iz zemljišta i transporta u nadzemne delove biljke (Schulz et al. 1999; Berlizov et al. 2007).

Transfer elemenata iz zemljišta u biljku je deo kompleksnog ciklusa kruženja elemenata u prirodi koji je uslovljen brojnim geohemijskim, klimatskim, biološkim, ali i antropogenim faktorima na staništu. Distribucija elemenata u biljkama zavisi od vrste biljke, osobina metala, njegove koncentracije, hemijske forme, fizičko-hemijskih osobina zemljišta, kao i specifične adaptivne strategije u odnosu na metale (Kloke et al. 1984; Kabata-Pendias and Pendias 2001; Nagajyoti et al. 2010). Iako kod drveća nije jednostavno precizno definisati put kojim je određen metal dospelo do nekog biljnog organa, akumulacijom iz zemljišta ili depozicijom iz vazduha, ova grupa biljaka predstavlja pouzdane bioindikatore zagađenosti, jer njegovi višegodišnji organi reflektuju kumulativne efekte zagađenja životne sredine (Sawidis et al. 2011). Za bilo koji element koji je predmet analize, odnosi koncentracija akumuliranih u različitim

delovima biljaka predstavljaju korisnu informaciju o transferu elemenata između biljnih delova, potencijalnoj akumulaciji u biljnim tkivima, odnosno o riziku pojave morfoloških i/ili fizioloških oštećenja biljaka (Rossini-Oliva and Mingorance 2006).

Generalno, analiza odgovora biljaka pokazuju da su biljke ugrožene direktnim i indirektnim putevima mnogim hemikalijama antropogenog porekla u vazduhu, ali da je apsorpcija od strane biljaka kritični faktor koji se može meriti. Zato je za razumevanje kompleksnog uticaja polutanata na biljke neophodno obavljati sistematska ekofiziološka istraživanja koja, između ostalog, uključuju analizu usvajanja, transporta i akumulacije metala u biljkama, kao i analizu efekata polutanata na njihovo funkcionisanje.

Ekofiziološka istraživanja koja su predmet ove disertacije su imala za cilj definisanje najvažnijih faktora stresa za ispitivane vrste biljaka, ispitivanje promena na fiziološkom i strukturnom nivou izazvanim stresom zagađenja u urbanim uslovima, i utvrđivanje potencijala ispitivanih vrsta za korišćenje u biomonitoringu zagađivanja u urbanim i industrijskim zonama čime se pruža osnova za buduću procenu stanja životne sredine. Kao model vrste za ova ispitivanja su izabrane tri drvenaste vrste biljaka: crni bor (*Pinus nigra* Arn.), divlji kesten (*Aesculus hippocastanum* L.) i platan (*Platanus acerifolia* (Ait.) Willd.). Kriterijumi za izbor ovih vrsta su bili njihova prisutnost na svim istraživanim lokalitetima i približno ista starost. Kontrolno stanište za ova istraživanja je bio Topčiderski park u Beogradu formiran u zoni nekadašnje autohtone šume hrasta sladuna i cera (*Quercetum frainetto cerris* Rud.). Istraživanja su obavljena u urbanim parkovima izloženim različitim izvorima zagađenja: u Pančevu (NIS-RPN Rafinerija nafte Pančevo, fabrika azotnih đubriva HIP-Azotara d.o.o, petrohemijska industrija HIP-Petrohemija), Smederevu (železara „Hesteel Serbia Iron and Steel d.o.o. Beograd), Obrenovcu (termoelektrane „Nikola Tesla A i B“, dve deponije pepela i šljake ukupne površine 1000 ha) i Beogradu (zagađenje poreklom iz saobraćaja).

Ekofiziološka istraživanja su obuhvatila sledeće analize i merenja:

- utvrđivanje fizičko-hemijskog sastava zemljišta u cilju identifikacije limitirajućih faktora za funkcionisanje ispitivanih vrsta biljaka u urbanim parkovima;
- utvrđivanje potencijalne biodostupnosti, mobilnosti i toksičnosti hemijskih elemenata u urbanim zemljištima;

- utvrđivanje sadržaja hemijskih elemenata u listovima i kori drvenastih vrsta biljaka i određivanje biokoncentracionog (BCF) faktora u cilju određivanja efikasnosti ispitivanih biljnih vrsta da usvajaju i akumuliraju iste u svojim tkivima;
- utvrđivanje efekata hemijskih elemenata uključujući i teške metale u listovima na fotosintetičku efikasnost PSII u listovima (Fv/Fm) sa ciljem određivanja osjetljivosti fotosintetičkog aparata na stres zagađivanja;
- utvrđivanje količine hlorofila (Chl *a*, Chl *b*, Chl *a+b*, Chl *a/b*) i ukupnih karotenoida u listovima biljaka u cilju određivanja osjetljivosti pigmenata koji sa jedne strane ulaze u sastav reakcionog centra PSII i antenskih pigmenata, a sa druge strane imaju značajnu ulogu u protekciji fotosintetičkog aparata;
- utvrđivanje morfoloških promena listova analizom herbarizovanog i svežeg biljnog materijala;
- analizu stanja struktura periferijskih zaštita listova i atmosferskih čestica deponovanih na površini listova putem SEM (EDS) analize;
- procena stepena tolerancije ispitivanih vrsta na stres zagađivanja teškim metalima

U istraživanjima se pošlo od hipoteze da biljke koje su izložene povećanoj koncentraciji metala u antropogeno degradiranim staništima ispoljavaju promene na biohemijskom, fiziološkom i morfološkom nivou, izazvane usvajanjem i akumulacijom metala u biljnim tkivima i organima, i smanjenom tolerancijom na nepovoljne uslove u životnoj sredini.

Ova istraživanja bi trebalo da doprinesu proširenju znanja o adaptivnim odgovorima odabranih drvenastih večnozelenih i listopadnih vrsta biljaka na zagađenje metalima što bi moglo biti značajno za razumevanje mehanizma tolerancije na stres zagađenja kod biljaka koje nastanjuju antropogeno degradovana staništa. Takođe, rezultati dobijeni u ovoj disertaciji mogu da doprinesu formiranju baze biljnih vrsta koje se mogu uspešno koristiti za sadnju i biološko obnavljanje degradovanih urbanih staništa poput gradskih parkova, drvoreda i zelenih pojaseva oko industrijskih postrojenja, čime se može kreirati strategija ekološkog obnavljanja urbanih ekosistema.

2. OPŠTE KARAKTERISTIKE ISTRAŽIVANIH LOKALITETA

2.1 Grad Pančevo

Geografski položaj, reljef

Grad Pančevo se nalazi u južnom delu Autonomne Pokrajine Vojvodine. Na severu, Pančevo se graniči sa opštinama Opovo i Kovačica, na severoistoku sa opštinom Alibunar, a na istoku sa opštinom Kovin. Njegovu južnu i zapadnu granicu čine reke Tamiš i Dunav. Prostire se između $44^{\circ} 39'$ i $45^{\circ} 02'$ severne geografske širine i $20^{\circ} 32'$ i $20^{\circ} 55'$ istočne geografske dužine zauzimajući površinu od 755 km^2 (3.51 % površine Vojvodine), a nalazi se na nadmorskoj visini od 77 m. U njemu je nastanjeno 123414 stanovnika (Republički zavod za statistiku RS 2012), odnosno 168 stanovnika po kvadratnom kilometru, što ga čini jednim od najgušće naseljenih gradova u Vojvodini (Brzaković et al. 2013).

Geološke i geomorfološke karakteristike

Teritorija grada Pančeva predstavlja integralni deo Panonskog basena sa osnovnim odlikama koje su karakteristične za najveći prostor ove morfostrukturne celine reljefa. Karakteriše ga pretežno ravničarski izgled topografske površine, koji je blago nagnut od severoistoka ka jugozapadu i u pravcu oticanja Tamiša i Dunava, sa malim visinskim razlikama i prožimanjima mlade geološke građe površinskog dela (Brzaković et al. 2013).

Pančevo karakterišu tri geomorfološke celine: niska aluvijalna ravan Dunava i Tamiša sa kotama terena nižim od nivoa velikih voda Dunava i Tamiša; južnobanatska lesna terasa koja predstavlja zaleđe aluvijalnih ravni Dunava i Tamiša; lesna zaravan iznad 100 m nadmorske visine koja predstavlja obronke Delibatske pešćare (Brzaković et al. 2013).

Najstarije utvrđene geološke formacije na teritoriji Pančeva su kristalasti škriljci paleozojske starosti, koji se nalaze na dubinama većim od 400 m. Gornjekredni krečnjaci, laporci i peščari javljaju se u povlati paleozojskih stena, preko kojih su smešteni kenojski sedimenti sa određenim količinama zemnog gasa i nafte. Teritoriju grada u potpunosti prekrivaju kvartarni sedimenti, koji se javljaju u vidu holpecenih peskova, suglina, šljunkova, aluvijalnih suglina, barskih glina, peskova, recentnog

mulja, eolskih peskova, peskovitog lesa i lesa. Aluvijalna ravan je sastavljena od peska i pretaloženog lesa. Površinski slojevi su sastavljeni od sitnih koji se nadovezuju do najkrupnijih peskova. Na dubinama preko 6 m, pesak smenjuje sitniji šljunak (Matić et al. 2012).

Pedološke karakteristike

Sastav zemljišta na teritoriji grada Pančevo karakteriše prisustvo karbonatnog i peskovitog černozema (WRB-chernozem); livadske crnice (WRB-fluvisol, humic); ritske crnice (WRB-gleysol, humic); aluvijalnog zemljišta (WRB-fluvisol) i slatinastog zemljišta (WRB-solonetz) (WRB 2006; Brzaković et al. 2013; Pavlović et al. 2017d).

Černozem se formira na lesnoj terasi i najrasprostranjeniji je tip zemljišta na ovom području kojeg karakterišu povoljne fizičko-hemijske osobine i poroznost, što pogoduje razvoju poljoprivrede.

Od ukupne površine zemljišta grada Pančeva (75500 ha), poljoprivredne površine zauzimaju 63820 ha ili oko 84.5 % teritorije opštine. Bonitet obradivog zemljišta je visoka i uglavnom spada u I i II klasu (Matić et al. 2012).

Klimatske karakteristike

Geografski položaj Pančeva karakteriše umereno-kontinentalna klima sa četiri godišnja doba gde preovladavaju duga i topla leta i jeseni, blage zime i kratka proleća. Male apsolutne nadmorske visine terena, slabo izraženi reljefni oblici, vode Dunava i Tamiša, galerijske i druge šume, kao i niska vegetacija utiču isključivo na formiranje mikroklimatskih razlika.

Srednja godišnja temperatura vazduha u periodu od 1990-2010. godine je iznosila 12.5 °C. Najhladniji mesec u godini je januar sa prosečnom temperaturom od -1.6 °C, dok je najtopliji mesec jul sa prosečnih 21.8 °C. Učestalost toplih i veoma toplih dana sa maksimalnim temperaturama od 25 °C, odnosno 30 °C iznosi 112 dana, ili 39 dana godišnje. Srednja godišnja vrednost vlažnosti vazduha u periodu od 1990-2010. godine iznosi 72.6 %. Od svih godišnjih doba, najveća relativna vlažnost je tokom zime (83 %), a najmanja leti (66.2 %) (Matić et al. 2012).

Padavine na području Pančeva se najčešće javljaju tokom leta, sa prosečnom vrednošću od 175.4 mm, a najređe tokom jeseni 129.8 mm. Srednja godišnja visina padavina iznosi 614 mm (Matić et al. 2012).

Područje Pančeva se odlikuje velikom učestalošću vetrova, posebno jugoistočnog vetra Košave koji duva u rano proleće i poznu jesen. Vetrovi koji duvaju sa severozapada su drugi po učestalosti, a najmanju učestalost imaju severni i severoistočni vetrovi (Matić et al. 2012). Preovladava jugoistočni vetar koji se najčešće javlja u jesen 368 ‰, a najređe u leto 196 ‰. Merenja koja su izvršena neposredno pred izgradnju azotare u Pančevu 1959. godine su pokazala da u proseku, svaki treći dan u godini nad Pančevom duva južni vetar, koji sve gasove iz industrijske zone nosi ka gradu (Canić et al. 2010).

Hidrološke karakteristike

Zapadna i jugozapadna strana teritorije grada Pančeva su oivičene rekama Dunav i Tamiš, dok je istočna strana ograničena vodotokom Nadel koji je nastao sakupljanjem površinskih i dreniranjem podzemnih voda (Brzaković et al. 2013). Osim površinskih, područje grada Pančeva se odlikuje i obimnim podzemnim vodama. Režim podzemnih voda direktno zavisi od morfoloških, geoloških i hidrogeoloških karakteristika ovog područja, kao i klimatskih uslova, blizine reka i stepena uticaja ljudskog faktora kroz izgrađenost hidrotehničkih objekata (Matić et al. 2012).

Maksimalni vodostaj Dunava koji se prostire dužinom od 30 km na jugozapadu grada je tokom aprila i maja, a najniži u septembru i oktobru. Dunav je kod Pančeva prava ravničarska reka, gde je širina reke pri niskom vodostaju 470 m, a dubina 17 m. Površinski tokovi Dunava i Tamiša imaju dvojak uticaj na priobalno područje. U vreme niskog vodostaja, reke imaju ulogu drenaže i prema njima gravitiraju podzemne vode koje tada imaju najniži nivo (Brzaković et al. 2013).

Brojne antropogene aktivnosti na ovom području su dovele do promena režima površinskih i podzemnih voda, što u značajnoj meri narušava prirodnu hidrološku ravnotežu. Nekonrolisano ispuštanje neprečišćenih otpadnih voda u vodotokove dovodi do zagađenja površinskih i podzemnih voda. Podaci Pokrajinskog hidrometeorološkog zavoda u Novom Sadu o kvalitetu vode Dunava, ukazuju da se status vode Dunava promenio iz II u III klasu (Matić et al. 2012).

Biogeografske karakteristike

Vegetaciju na teritoriji opštine Pančevo čine samonikle i kulturne biljke, gde se prvobitna samonikla vegetacija zadržala samo na manjim površinama, koje nisu pogodne za obradu. Od samoniklih zajednica su zastupljene šume, livade i ševarišta. Na niskoj aluvijalnoj ravni, koja je izložena plavljenju pri višem vodostaju Tamiša, razvijena je barska vegetacija sa sledećim vrstama: lokvanj (*Nymphaea alba* L.), trska (*Phragmites australis* (Cav.) Trin), rogoz (*Typha latifolia* L.) i drugi. Površine pod šumama su manje, neravnomerno raspoređene i ograničene na 2-3 km². Površina pod šumama iznosi svega 5.5 %, a livade i pašnjaci pokrivaju samo 4.9 % teritorije opštine. Osnovne vrste drveća koje su prisutne na teritoriji opštine su hibridne evroameričke topole (*Populus canadensis* Moench), bela vrba (*Salix alba* L.), američki jasen (*Fraxinus americana* L.), bela topola (*Populus alba* L.), crna topola (*Populus nigra* L.), hrast lužnjak (*Quercus robur* L.) i brest (*Ulmus minor* Miller) (Matić et al. 2012).

2.2 Grad Smederevo

Geografski položaj, reljef

Grad Smederevo se nalazi u severoistočnom delu centralne Srbije, između 44° 27' i 44° 42' severne geografske širine i 20° 45' i 21° 09' istočne geografske dužine, na prosečnoj nadmorskoj visini od 120.7 m što ga svrstava u nizijske predele. Ograničen je rekom Dunav i najvećom rekom u Srbiji Velikom Moravom. Severnu granicu grada čini reka Dunav u dužini od 20 km, kao i nizijsko područje južnog oboda Panonskog basena u krajnjem severoistočnom delu Šumadije. Sama teritorija grada Smedereva pripada Podunavlju i gornjem Pomoravlju. Smederevo se pruža pravcem sever-jug u dužini od 29 km, a u pravcu istok-zapad u dužini od 33 km (Vujović et al. 2013). Njegova ukupna površina iznosi 481.7 km², a prema popisu iz 2011. godine, opštinu Smederevo naseljava 108209 stanovnika, sa prosečnom gustinom naseljenosti od 223.5 stanovnika/km² (Republički zavod za statistiku RS 2012).

Geološke i geomorfološke karakteristike

Teren Smederevskog Podunavlja izgrađuju sedimenti ponta. Većinom su pokriveni kvartarnim naslagama i neogenim sedimentima koji su predstavljeni slabo uslojenim

prašinastim peskovima i glinama. Neogeni sedimenti izgrađuju prvu geomorfološku jedinicu koja se pruža na zapadu, a izgrađuju ih pontski sedimenti. To je brdoviti deo terena koji se relativno blago izdiže iznad geomorfoloških jedinica ravničarskog karaktera. Druga geomorfološka jedinica je predstavljena terasnom ravni, pruža se pravcem jug-jugositok i sever-severozapad, odnosno između aluvijalne ravni Velike Morave i brdovitog terena. Izgrađuje je delimično humificiran pokrivač sastavljen od peska, prašine taložene u vodi, šljunka i gline. Treću geomorfološku jedinicu predstavlja aluvijalna ravan Velike Morave u koju su usekle svoje korito reke Ralja i Jezava. Aluvijalne ravni Dunava i Jezave, s obzirom na veličinu te dve reke, zahvataju u području Smedereva relativno malu površinu i razvijene su u vidu uskih izduženih zona koje se pružaju uz reke (Vujović et al. 2013).

Destruktivan antropogeni uticaj je doveo do pojave velikog broja klizišta u području Smederevskog Podunavlja kojima pogoduju povoljni geološki, hidro-geološki, hidrološki (mehanički i hemijski rad rečne vode) i geomorfološki uslovi. Rezultat su savremenih egzodinamičkih procesa koji se odvijaju u najmlađoj evolutivnoj fazi formiranja recentnih formi padinskog reljefa (Miljković et al. 2009).

Pedološke karakteristike

Na prostoru Smedereva postoje različiti tipovi zemljišta koji se prema starosti mogu podeliti na starija i mlađa. Za rečne doline su karakteristična mlađa zemljišta. Njihova zastupljenost je prisutna i na višim delovima terena, ali najčešće na onim mestima gde su stara zemljišta degradovana procesima erozije. Na teritoriji grada Smedereva se javljaju tri tipa zemljišta: gajnjače (WRB-cambisol, eutric) prisutne u šumadijskom delu grada na talasastim dolinama sa malim nagibom koje su zastupljene sa 40 % u ukupnoj površini zemljišta; smonice (WRB-vertisol) zastupljene u podbrđu i delu poloja reka sa učešćem od 35 % koje karakteriše visok procenat glinovite komponente i izuzetna plodnost; i ritska crnica (WRB-gleysol, humic) koja se nalazi na obodu aluvijalnih ravni u pologu Velike Morave i Dunava i čini 25 % od ukupnih površina teritorije grada Smedereva (WRB 2006, Vujović et al. 2013, Pavlović et al. 2017d).

Klimatske karakteristike

Grad Smederevo se nalazi u umereno-kontinentalnom klimatskom pojasu. Na severu se nalazi prostrana Panonska nizija, čiji se klimatski uticaj pruža i ka jugu, duž doline Velike Morave u vidu pojave čestih vetrova, posebno zimi. Teritoriju Smedereva odlikuju umereno topla leta sa velikim brojem sunčanih sati, i zime koje mogu biti veoma hladne sa dugim mraznim periodima (Službeni list grada Smedereva 2011).

Srednja godišnja temperatura vazduha iznosi 12.4 °C. Februar je najhladniji mesec, sa srednjom temperaturom -4.2 °C, a najtopliji mesec je juli sa srednjom temperaturom 25.4 °C. Amplitude prosečnih mesečnih temperatura tokom letnjih meseci su manje, dok su zimi znatno veće oscilacije u promeni temperature (Vujović et al. 2013).

Srednja godišnja relativna vlažnost vazduha na teritoriji grada Smedereva je 63 %. Najveća relativna vlažnost je tokom zimskih meseci i iznosi od 72-81 %. Prosečna godišnja visina padavina iznosi 640 mm (Vujović et al. 2013). Najkišovitije godišnje doba je leto (prosečno se izluči 28.7-30.1 % padavina), a najmanje padavina je u februaru (Službeni list grada Smederevo 2011).

Teritorija grada Smedereva se odlikuje najvećom učestalošću i jačinom jugoistočnog vetra Košave u Srbiji. Osim Košave, javljaju se i južni, severozapadni i zapadni vetrovi. Otvorenost Panonske nizije pogoduje pojavi čestih vetrova, posebno zimi, ali je njihova učestalost izražena tokom cele godine. Značajno je da svi ovi vetrovi imaju provetravajuću ulogu u gradskom jezgru (Službeni list grada Smederevo 2011, Vujović et al. 2013).

Hidrološke karakteristike

Smederevo se prostire neposredno do ušća Velike Morave u Dunav, pri čemu u hidrografskom pogledu najvećim delom pripada slivu Velike Morave. Od stalnih vodotokova, najznačajniji su Dunav, Velika Morava, Jezava, Ralja, Konjska reka, Petrijevski i Vučački potok (Vujović et al. 2013). Sa severne strane hidrološku mrežu ograničava Dunav u dužini od 20 km, čiji je vodostaj najviši u proleće, a najniži tokom jeseni. Velika Morava sa dužinom toka od 27 km se prostire duž istočne strane grada. Za ovaj teren je karakterističan veliki broj deponija, neuređenost sliva i zabrinjavajuće ekološko stanje rečnih korita, zbog čega većina vodotokova ima bujični karakter

(Miladinović and Gavrilović 2012). Na teritoriji grada je izgrađeno i nekoliko manjih vodnih akumulacija poput „Kolarišta“, „Mihajlovca“ i „Vučka“ (Vujović et al. 2013).

Biogeografske karakteristike

Na području grada Smedereva su prisutna dva osnovna bioma: biom submediteranskih šuma sa hrastom sladunom i cerom (*Quercetum frainetto-cerris* Rudski 1949), koji obuhvata veći deo teritorije Smedereva i predstavlja klimatogenu zajednicu ovog područja, i biom južноеvropskih listopadnih šuma vodoplavnog i nizijskog tipa koje karakterišu zajednice hrasta lužnjaka i graba (*Carpino betuli-Quercetum roburi* Anić ex. Rauš 1969), i šume vrba i topola (*Salici-Populetum nigrae* Parabućski 1972) koji se prostire celim tokom reke Morave i reke Ralje. Ove šumske zajednice imaju veliki planski značaj za Smederevo, kao proizvođači kiseonika i prečišćivači vode, kao i zaštitnu funkciju nebranjeno delu Velike Morave. Stepenn šumovitosti je veoma nizak (oko 5 %), i znatno manji u odnosu na Republiku (26 %), odnosno region (23 %). Šume su na tim površinama slabog kvaliteta i fragmentisane tako da se o njima može govoriti samo kao o korisnom „potencijalu“ za zaštitu zemljišta od erozija. Najzastupljenije vrste u postojećim šumama su cer (*Quercus cerris* L.), medunac (*Quercus pubescens* Willd.), sladun (*Quercus frainetto* Ten.), bagrem (*Robinia pseudoacacia* L.) i bela topola (*Populus alba* L.).

Neophodno je napomenuti da su prirodni predeli pretpeli znatnu degradaciju od strane čoveka, tako da su skromni ostaci nekadašnjih prirodnih ekosistema rasuti po celoj površini grada u vidu manjih sastojina koje su zaštićene i proglašene prirodnim rezervatima (strogi i specijalni prirodni rezervati) (Službeni glasnik grada Smederevo 2011, Vujović et al. 2013).

2.3 Opština Obrenovac

Geografski položaj, reljef

Opština Obrenovac predstavlja jednu od 17 beogradskih opština, koja se nalazi na severozapadu Srbije, i teritorijalno pripada središnjem delu donjokolubarskog basena. Prostire se između 44° 30' i 44° 43' severne geografske širine i 19° 58' i 20° 20' istočne geografske dužine, a od centra Beograda je udaljen 28 km. Najveći deo opštine

Obrenovac je ograničen prirodnim granicama, na severu prema Sremu rekom Savom, na istoku i jugu širokim dolinama Kolubare i Tamnave, dok se na zapadu naslanja na ogranke Pocerine. Opština zahvata površinu od 410 km² i zahvaljujući razvoju industrije sedamdesetih godina XX veka, koje je uslovalo povećanje broja stanovnika, opštinu naseljava, prema popisu stanovništva iz 2011. godine 72524 stanovnika, sa prosečnom gustinom naseljenosti od 180 stanovnika/km² (Republički zavod za statistiku RS 2012). Više od 50 % (56.3 %) teritorije opštine Obrenovac se nalazi na nadmorskoj visini ispod 100 m, što je svrstava u ravničarske, odnosno nizijske predele. Do 200 m nadmorske visine se nalazi 92.2 % teritorije, a samo 8 % istočnog dela teritorije pripada brdovitom delu, odnosno desnoj dolinskoj strani reke Kolubare. Srednja nadmorska visina opštine Obrenovac iznosi 112 m (Dragičević et al. 2008; Strateški akcioni plan gradske opštine Obrenovac 2013).

Geološke i geomorfološke karakteristike

Litološka analiza terena pokazuje da se na teritoriji opštine Obrenovac javljaju isključivo sedimentne stene kenozojske starosti. Najstarije miocenske naslage su uočljive samo uz jugoistočnu granicu opštine, a najmlađe poput peskova, šljunka i suglina se nalaze uz prostrana korita Save i Kolubare (Dragičević and Karić 2003). Iznad paleozojskih i mezozojskih naslaga se nalaze neogeni sedimenti u vidu laporaca, šljunkova, peskova i gline. Oni predstavljaju ostatak Panonskog mora i taloženi su u marinskim, braktičnim, kaspibraktičnim i slatkovodnim režimima (Dragičević and Karić 2003). Sa geomorfološke tačke gledišta, najveći deo opštine Obrenovac se nalazi na makroplavini reke Kolubare. Plavine predstavljaju uzvišenja od rečnog nanosa koja pripadaju grupi akumulativnih fluvijalnih oblika, a s obzirom da je površina plavine na ušću reke Kolubare veća od 5 km², svrstava se u kategoriju makroplavina. Makroplavine su stvarane tokom kvartara za vreme izrazito vlažne klime (Dragičević and Karić 2003; Dragičević et al. 2008). Istočno od reke Kolubare, na blagom pobrđu i višim nagibima dolazi do pojave klizišta, odnosno erozije i akumulacije erodiranog materijala u donjem njenom toku, što stvara uslove za pojavu poplava pri svakom većem vodostaju (Dragičević et al. 2008; Cvijanović et al. 2012).

Pedološke karakteristike

Na prostoru opštine Obrenovac moguće je izdvojiti zemljišta različite starosti i genetskih tipova što je uslovljeno delovanjem različitih pedogenetskih činilaca (Dragičević and Karić 2003). Prema rezultatima istraživanja Instituta za zemljište iz 2008-2009. godine, na ovom području preovlađuju razvijena, duboka i potencijalno plodna zemljišta. Dominiraju hidromorfna zemljišta: aluvijum (WRB-fluvisol) koji je karakterističan za rečne doline i uslovno je visoko produktivno zemljište; fluvijalna livadska crnica (WRB-fluvisol, humic) koje je visokoproduktivno zemljište i izvorno se nalazi pod livadskom vegetacijom; i ritska crnica (WRB-gleysol, humic) u centralnom delu opštine i duž reka Save, Kolubare i Tamnave koja ima duboki humusno-akumulativni horizont i potencijalno je plodno zemljište. Osim ova tri karakteristična tipa zemljišta prisutan je i pseudoglej (WRB-stagnosol) na zapadu i jugozapadu koji ima nepovoljan vodno-vazdušni i toplotni režim, nepovoljnog je mineralnog sastava i veće kiselosti, a značajno učešće imaju i automorfna zemljišta: gajnjača (WRB-cambisol, euteric) na istoku i jugozapadu i deluvijum (WRB-colluvic regosol) na istoku opštine (WRB 2006; Cvijanović et al. 2012; Pavlović et al. 2017d).

Klimatske karakteristike

Obrenovac je u klimatskom pogledu smešten u središtu severnog umerenog-toplog pojasa, a klima predstavlja blažu varijantu kontinentalne panonske klime. Osnovni elementi kontinentalne klime su topla leta i hladne zime. Otvorenost teritorije ovog predela ka Panononskoj niziji uslovljava čest prodor i hladnih i toplih vazdušnih masa koje preko severne i srednje Evrope lako prodiru na jug (Dragičević and Karić 2003; Cvijanović et al. 2012). Međutim, ovi prodori su najčešće pravilno raspoređeni što ne remeti pravilan godišnji termički režim, koji podrazumeva najniže godišnje vrednosti temperature u januaru (-2.1 °C), a najviše u julu (21 °C). Srednja godišnja temperatura vazduha iznosi 11 °C, sa prosečnom godišnjom amplitudom od 23.1 °C.

Kao što je već pomenuto usled otvorenosti prema severu ka Panonskoj niziji, na ovom prostoru je dominantan uticaj kontinentalnog pluviometrijskog režima, što uslovljava maksimum padavina krajem proleća i početkom leta, dok je sekundarni maksimum padavina krajem jeseni. Prosečna godišnja količina padavina za opštinu Obrenovac iznosi 647.2 mm (Dragičević and Karić 2003). Za ovaj prostor je

karakteristična pojava grada, elementarne nepogode koja ima izuzetno negativne posledice. Tokom avgusta i oktobra se javlja sušni period, koji se prosečno tokom godine javlja 6-8 puta (Đorđević and Panić 2006).

Prosečna godišnja relativna vlažnost vazduha iznosi 74 %. U zimskim mesecima iznosi od 80-85 %, dok u ostalim varira od 45-75 %. Srednji godišnji vazdušni pritisak iznosi oko 1006 mbar, najviši je u januaru 1010 mbar, a najniži u aprilu 1003 mbar (Cvijanović et al. 2012).

Važan klimatski element je vetar i nalazi se u direktnoj zavisnosti od cirkulacije u atmosferi i orografije. Za opštinu Obrenovac je karakterističan jugoistočni vetar-Košava koji ujedno ima i najveću prosečnu brzinu. Leti je dominantan vetar iz zapadno-severozapadnog pravca, u proleće su podjednako zastupljeni istočno-jugoistočni i severozapadni vetar, dok tokom jeseni i u zimu dominira istočni vetar. Pravac vetra je veoma značajan zbog transporta polutanata na različite distance od izvora emisije. Na osnovu ruže vetrova uočljivo je da sa aspekta širenja zagađujućih materija najveći značaj imaju severozapadni i zapadni vetrovi, ali i oni iz jugoistočnog kvadranta. Naime, položaj deponija pepela na prostoru opštine Obrenovac, koje su locirane u njenom zapadnom i severozapadnom delu, je takav da vetrovi iz zapadnog i severozapadnog kvadranta direktno ugrožavaju gradsko jezgro i veliki deo teritorije opštine, dok vetrovi iz jugoistočnog kvadranta donose zagađujuće materije iz Crljena i površinskog kopa lignita na čitav prostor opštine Obrenovac. Uočava se da je teritorija opštine Obrenovac izložena veoma opasnim vazдушnim strujanjima koja ugrožavaju životnu sredinu i zdravlje stanovništva (Dragićević and Karić 2003; Cvijanović et al. 2012).

Hidrološke karakteristike

Teritorija opštine Obrenovac se nalazi na području sliva dve velike reke Save i Kolubare. Kolubara ima karakteristike bujičnog rečnog toka i predstavlja opasnost po grad i njegovu okolinu zbog čestih izlivanja u prolećnom periodu. Reka Sava, koja predstavlja severnu granicu opštine, se u prošlosti često izlivala i plavila veći deo teritorije, ali je izgradnjom nasipa korito regulisano i tako problem delimično rešen, ali je prirodna sredina značajno izmenjena (Dragićević and Karić 2003; Đorđević and Panić 2006). Teritorija opštine je bogata kako površinskim tako i podzemnim vodama,

međitim njihov kvalitet je veoma nizak. Naime, reka Kolubara je pretvorena u kolektor otpadnih voda, delom zbog iskopavanja i prerade uglja, a delom zbog ispuštanja kanalizacionih voda, dok su podzemne vode takođe ugrožene neadekvatnim održavanjem deponije pepela u Obrenovcu i Grabovcu (Dragičević and Karić 2003).

Zbog nedovoljnih i neravnomerno raspoređenih voda gotovo je nemoguće njihovo korišćenje kako iz velikih reka, tako i iz stalnih ili periodičnih tokova (Tamnava, Peštan i Turija). Nedovoljno razvijena vodoprivreda direktno onemogućava prevazilaženje ovih problema u dužem vremenskom periodu, ili potencijalno trajno rešavanje problema vodosnabdevanja naselja i navodnjavanja poljoprivrednih površina (Đorđević and Panić 2006).

Za teritoriju opštine Obrenovac se vezuju dva ozbiljna problema. Jedan je postojanje brojnih divljih deponija na obalama i rečnim terasama Kolubare koje dospevaju u reku u periodu visokih prolećnih vodostaja, sa svim posledicama po životnu sredinu koje iz toga proizilaze. Drugi problem je da se na 10 km nizvodno od ušća Kolubare u Savu nalazi glavni vodozahvat za preradu vode u Makišu kojim se vrši snabdevanje celog Beograda vodom (Dragičević and Karić 2003).

Biogeografske karakteristike

Šumski fond na teritoriji opštine Obrenovac je mali. Podaci Republičkog zavoda za statistiku za period 2002-2010. godine ukazuju da je samo 3118 ha površina pod šumom i da se šumski fond nije značajno menjao u dugom vremenskom periodu. Udeo koji teritorijalno šume Obrenovca zauzimaju u odnosu na Republiku je samo 0.16 %, odnosno 7.54 % ukupne površine koju zahvata opština Obrenovac (Cvijanović et al. 2012).

Prirodne vodoplavne šume u dolini Save su u velikoj meri uništene pretvaranjem u oranice. One predstavljaju ostatke bioma južноеvropskih listopadnih šuma za koje su karakteristične zajednice lužnjaka i žutilovke (*Genisto elatae-Quercetum roboris* Horv. 1938) (Đorđević and Panić 2006). Šume su čiste i mešovite, a u pogledu zastupljenosti lišćari su dominantni sa 96.2 %, dok pošumljenih četinara ima 3.8 %. Osim lužnjaka (*Quercus robur* L.) i žutilovke (*Genista elata* (Moench) Wender.) zastupljene lišćarske vrste su vrba (*Salix alba* L.), cer (*Quercus cerris* L.), topola (*Populus nigra* L.), kitnjak (*Quercus petraea* (Mattuschka) Liebl), bukva (*Fagus sylvatica* L.), bagrem (*Robinia*

pseudoacacia L.), grab (*Carpinus betulus* L.) itd. Od introdukovanih lišćara zastupljeni su topola robusta (*Populus robusta* Moench), bagrem i američki jasen (*Fraxinus americana* L.) (Cvijanović et al. 2012).

Od ukupnog broja identifikovanih biljnih vrsta, 16 je svrstano u kategoriju ugroženih vrsta drveća i 53 u kategoriju retkih vrsta (14 u kategoriji dosta retkih, 18 vrlo retkih i 21 biljna vrsta pred iščezavanjem). Pod zaštitom je samo jedan lokalitet na kome raste šest individua hrasta lužnjaka čija se starost procenjuje na oko 200 godina, na levoj obali Kolubare, pod nazivom „Grupa stabala hrasta lužnjaka – Jozića koliba“, u ataru sela Veliko Polje. Ovaj lokalitet ima status spomenika prirode III kategorije.

2.4 Grad Beograd

Geografski položaj, reljef

Beograd je glavni i najveći grad Srbije, i jedan od najstarijih gradova u Evropi sa istorijom dugom preko 7000 godina. Nalazi se na ušću reke Save u Dunav, i na dodiru dveju prirodnih celina sa izrazitim fizičko-geografskim kontrastima- Panonske ravnice koja se nalazi na severu i zaleđa Balkanskog poluostrva (Šumadije) južno od dve reke. Severno od Save i Dunava su aluvijalne ravni i lesna zaravan. Ispod lesne zaravni, na levoj obali se nalazi opština Novi Beograd, dok je na desnoj obali Dunava opština Zemun. U reljefu šumadijskog pobrđa se ističu dve planine Avala i Kosmaj. Ukupna površina administrativnog područja grada Beograda iznosi 3222.68 km², dok samo naselje zauzima 359.96 km². Nalazi se između 44° 49' severne geografske širine i 20° 27' istočne geografske dužine. Za prosečnu nadmorsku visinu grada Beograda se uzima apsolutna visina Meteorološke opservatorije (132). Najvišu nadmorsku visinu ima vrh Kosmaj (682 m), a najnižu opština Grocka (71 m) (Sekretarijat za zaštitu životne sredine 2013).

Prema popisu stanovništva iz 2011. godine, broj stanovnika u Beogradu iznosi 1233796, dok sa ostalim opštinama ukupno živi 1659440 stanovnika i prosečna gustina naseljenosti iznosi 4610 stanovnika/km². Beograd zauzima preko 3.6 % teritorije Republike Srbije, a u njemu živi 21% ukupnog dela građana Srbije (Republički zavod za statistiku RS 2012). Predstavlja centar državne administracije, državnih institucija i

većeg broja međunarodnih institucija, ali i snažnu konstelaciju urbanih, poluurbanih i seoskih naselja (Sekretarijat za zaštitu životne sredine 2013).

Geološke i geomorfološke karakteristike

U geološkom pogledu, najveću površinu teritorije grada Beograda zauzimaju nataložene tvorevine kvartara. Iako njihova količina nije izrazita u poređenju sa drugim geološkim formacijama, postojeći geomorfološki uslovi su doveli do izuzetne pokrivenosti terena uz ograničeno rasprostiranje po dubini. Na taj način su zamaskirane starije formacije. Kategorizacija osnovnih geološko-geomorfoloških kategorija terena na teritoriji Beograda je izvršena na sledeći način (Jovanović 1994; Sekretarijat za zaštitu životne sredine 2013):

- Niskoravničarski tereni fluvijalnog tipa koji obuhvataju aluvijalne zaravni Save, Dunava, Tamiša i Kolubare, kao i donje delove njihovih pritoka. Predstavljaju akumulativni tip reljefa, formiran od nanosnog materijala pomenutih rečnih tokova, a izgrađeni su od peskova, šljunka, peskovitih glina, organskih glina i muljeva.
- Eoloske i eolsko-akvatične zaravni Srema koje predstavljaju lesnu zaravan izgrađenu od prašinasto-peskovitih glina i prašina, i lesoidnu zaravan izgrađenu od prašinih peskova i prašinih glina.
- Tereni neogenog pobrđa koji su zastupljeni južno od Save i Dunava, u čijoj građi učestvuju glinovito-laporoviti sedimenti i vezani klastiti u dubljim delovima terena. U okviru terena neogenog pobrđa se izdvajaju padinski delovi koji su u priobalju Save i Dunava intenzivno degradirani erozijom, kao i visoke površi prekrivene lesoidno-deluvijalnim sedimentima.
- Brdski i brdsko-planinski tereni koji obuhvataju centralni deo područja, izgrađeni od vezanih klastičnih i karbonatnih stena, sa probojima magmatita i serpentinita. Ispresecani su dubokim rečnim i potočnim dolinama, i imaju intenzivnu erozionu i bujičnu aktivnost.
- Geotehnojeni tereni koji su izmenjeni i naknadno formirani rudarskom aktivnošću, sa kopovima i odlagalištima, pepelišta i deponije komunalnog otpada.

Pedološke karakteristike

Zemljište u Beogradu se odlikuje velikom raznovrsnošću različitih tipova i varijeteta. Najniže položaje zauzimaju hidromorfna zemljišta glej, semiglej (WRB-fluvisol, humic) i aluvijalna zemljišta (WRB-fluvisol). Iznad njih su terestrična zemljišta smonice (WRB-vertisol), gajnjače (WRB-cambisol, eutric) i na kraju skeletna zemljišta. U horizontalnom pogledu, od istoka prema zapadu, smenjuju se ili prepliću černozem (WRB-chernozem), degradirani černozem i gajnjača (WRB-cambisol, eutric) (Jovanović 1994). Načelno se zemljišta u Beogradu mogu podeliti na: urbano građevinsko, industrijsko, komunalno, poljoprivredno, šumsko, vodno i nisko, kao i degradirano zemljište (Sekretarijat za zaštitu životne sredine 2013).

Mehanički sastav, kao i fizičko-hemijske karakteristike zemljišta su najčešće nepovoljne jer u njima često dominira materijal antropogenog porekla: šljaka, šljunak, komadići cigle, betona, maltera, metala i slično, dok je organska komponenta zastupljena uglavnom biljnim detritusom, ugljem, odbačenom hartijom, tekstilom i drugim otpacima organskog porekla (Jovanović 1994).

Klimatske karakteristike

Beograd se nalazi u zoni umereno-kontinentalne kline sa lokalnim varijetetima. Karakterišu ga sva četiri godišnja doba sa izraženim razlikama između srednjih godišnjih temperatura u letnjem i zimskom periodu. Leta su najčešće suva i žarka, a zime hladne.

Srednja godišnja temperatura vazduha u Beogradu iznosi 11.9 °C. Najhladniji mesec u godini je januar sa prosečnom temperaturom 0.1 °C, dok je najtopliji jul sa prosečnom temperaturom 22.1 °C. Godišnja amplituda temperature iznosi 21.4 °C.

Srednje godišnje količine padavina na ovom području se kreću u intervalu od 610-730 mm. Prosečna godišnja količina padavina iznosi 684.3 mm, a one su najintezivnije u maju i junu, sa sekundarnim maksimumom u novembru. Sušni period je karakterističan za jul i avgust kao i u zimskim mesecima.

Relativna vlažnost vazduha ima pravilan godišnji tok sa maksimalnim vrednostima u zimskom, a minimalnim u letnjem periodu godine. Prosečna godišnja vrednost relativne vlažnosti vazduha iznosi 69.1 %.

Srednji godišnji atmosferski pritisak u Beogradu iznosi 1001 mbar.

U užem području Beograda pravac kretanja vetrova je jugoistok-severozapad, a karakterističan vetar je Košava. Najčešće se javlja u zimskom periodu godine kad donosi vedro i suvo vreme. Severozapadni i istočni vetrovi su manje česti, ali uslovljavaju veću vlažnost i donose padavine. Najređe duvaju južni vetrovi (Sekretarijat za zaštitu životne sredine 2013).

Hidrološke karakteristike

Hidrografska mreža teritorije Beograda je veoma neravnomerno razvijena, odnosno složene geološke prilike uslovljavaju složene hidrološke karakteristike terena usled čega određeni delovi obiluju vodnim resursima različitog porekla, a drugi u velikoj meri u njima oskudevaju. Vodne resurse Beograda čine velike tranzitne reke Dunav, Sava, Kolubara i Tamiš, ali i više od 160 malih vodotoka i 9 jezera sa nekoliko površinskih akumulacija. Na južnom brežuljkastom terenu, dominiraju stalni vodotoci Topčiderske, Železničke i Ostružničke reke, dok u severnom ravničarskom terenu postoji veliki broj kanalisanih rečnih tokova poput: Jarčine, Ugrinovačke reke, Surčinskog, Galovičkog i kanala Petrac. Vode u većim kanalima su stalne, ali imaju promenljiv tok.

Dunav, druga po veličini reka u Evropi, kroz Beograd protiče dužinom od oko 50 km. Na teritoriji Beograda ima karakter ravničarske reke. Vodostaji su najviši u aprilu, a najniži u septembru. Prosečna godišnja temperatura vode iznosi 11.5 °C.

Reka Sava je najduža pritoka Dunava, a kroz Beograd teče dužinom od oko 30 km i spaja se sa Dunavom ispod Kalemegdana. Dominantno je ravničarska reka sa razvijenim širokim menadrima. Periodično plavi površinskim vodama u niskoj aluvijalnoj ravni. Najviši srednji mesečni vodostaj je u aprilu, a najniži u septembru. Prosečna godišnja temperatura vode iznosi 13.1 °C.

Pored površinskih tokova, na teritoriji Beograda se nalaze i veštački stvorena jezera: Savsko jezero na Adi Ciganliji, Podavalske akumulacije (Pariguz, Bela reka i Duboki potok), Markovačko jezero kod Mladenovca i male akumulacije u Čibutkovici i kod Vreoca (Sekretarijat za zaštitu životne sredine 2013).

Najveći deo podzemnih voda Beograda se nalazi u aluvijalnim naslagama velikih vodotoka. Aluvion reke Save se koristi 50 godina kao izvor vodosnabdevanja Beograda.

Biogeografske karakteristike

Područje Beograda u biogeografskom pogledu obuhvata srednjeevropski region nizijskih i brdskih listopadnih šuma sa zeljastom vegetacijom, i pontsko-južnosibirski region sa karakterističnim ekosistemom stepa i šumo-stepa, koji je zastupljen sa lesnim platoima i brdima duž reke Dunav. U okviru administrativnog područja Beograda mogu se izdvojiti tri fragmenta bioma: stepe i šumo-stepe na severu; južnoevropske listopadne šume vodoplavnog i nizijskog tipa duž vodenih tokova i submediteranske šume sa hrastom sladunom i cerom na jugu (*Quercetum frainetto-cerris* Rudski 1949).

Ukupna površina šuma i šumskih kultura na teritoriji Beograda iznosi 38865 ha. Stepennost je neujednačen i iznosi 12 %. Na administrativnoj teritoriji Beograda evidentirano je preko 35 vrsta drveća, od čega su 22 vrste autohtone. U ukupnom šumskom fondu dominiraju listopadne vrste sa 96.2 %, dok su četinarske vrste procentualno zastupljene sa samo 3.8 %. Najzastupljenije vrste su cer (*Quercus cerris* L.), lužnjak (*Quercus robur* L.), sladun (*Quercus frainetto* Ten), topola (*Populus alba* L.), bukva (*Fagus sylvatica* L.), jasen (*Fraxinus excelsior* L.), bagrem (*Robinia pseudoacacia* L.) (Sekretarijat za zaštitu životne sredine 2013) itd.

2.5 OPIS I KARAKTERISTIKE ISTRAŽIVANIH URBANIH PARKOVA

Lokaliteti uzorkovanja su bile parkovske površine u četiri grada u Srbiji, unutar 50 km vazdušne linije- Beograd, Pančevo, Smederevo i Obrenovac. Svaki od ovih gradova karakteriše različit dominantan izvor zagađivanja, čije je poreklo iz raznih industrijskih aktivnosti, odlaganja komunalnog i/ili industrijskog otpada, i intenzivnog saobraćaja. U Pančevu su dominantni izvori zagađenja „HIP Azotara” (fabrika mineralnih đubriva i azotnih jedinjenja), „HIP Petrohemija” (petrohemijski kompleks) i „Rafinerija Nafta Pančevo”; u Smederevu je glavni izvor zagađenja železara „HBIS Group Serbia and IronSteel d.o.o.”; u Obrenovcu dve termoelektrane „Nikola Tesla A” i „Nikola Tesla B”, ali i dve velike deponije pepela koje su posledica sagorevanja uglja i zauzimaju ukupnu površinu oko 1000 ha; u Beogradu je dominantni izvor zagađenja saobraćaj.

2.5.1 Pančevo – „Narodna bašta”

„Narodna bašta” (44° 51' s.g.š i 20° 39' i.g.d) je najveći i najstariji gradski park u Pančevu, osnovan po nalogu prvog brigadnog generala Mihovila Mihaljevića 1823. godine. Predstavlja jedan od najljepših parkova i gradskih zelenih oaza u Srbiji. Obuhvata površinu od 14 ha i nalazi se na nadmorskoj visini od 77 m. Izgrađen je po uzoru na nemačke parkove sa elementima francuskih i engleskih parkova. Renoviran je nekoliko puta. Od drvenastih vrsta su zastupljeni lipa (*Tilia argentea* L.), kesten (*Aesculus hippocastanum* L.), platan (*Platanus acerifolia* (Ait.) Willd.), orah (*Juglans regia* L.), topola (*Populus nigra* L.), vrba (*Salix alba* L.), različite vrste javora itd. Od četinara su pristuni crni (*Pinus nigra* Arn.) i beli bor (*Pinus sylvestris* L.), ariš (*Larix europaea* Miller), tisa (*Taxus baccata* L.) itd. „Narodna bašta” je od centra Pančeva udaljena 1.3 km, a od glavnih izvora zagađenja 2.69 km od „HIP Azotare”, 3.50 km od „HIP Petrohemije” i 4.43 km od „Rafinerije nafte Pančevo” (Slika 1).

2.5.2 Smederevo – „Park Narodnih Heroja“

Parkovske površine u Smederevu su fragmentisane i ispresecane betonskim površinama. „Park Narodnih Heroja“ se nalazi u centru Smedereva na koordinatama 44° 66' s.g.š. i 20° 92' i.g.d. na nadmorskoj visini od 73 m. Podignut je 1955. godine, povodom desetogodišnjice od završetka Drugog svetskog rata. Naziv je dobio po narodnim herojima Smedereva koji su poginuli u Drugom svetskom ratu – Ivanu Stefanoviću, Milivoju Stojkoviću i Svetomiru Mladenoviću. U parku je prisutan veliki broj vrsta listopadnog drveća i žbunova.

Industrijska zona je, u odnosu na park, locirana 7 km jugoistočno (Slika 1).

2.5.3 Opština Obrenovac – „Trg dr Zorana Đinđića”

Gradski trg Obrenovac - „Trg dr Zorana Đinđića“ (44° 39' s.g.š i 20° 12' i.g.d.) se graniči sa veoma prometnim ulicama Vojvode Mišića, Karađorđevom i Vuka Karadžića. Zbog svog položaja, predstavlja jednu od najznačajnijih zelenih površina u gradu. Izgrađen je 2004-2005. godine i u njemu se nalazi 22 različite vrste drveća sa preko 100 individua, kao i 50 sadnica žbunja. „Trg dr Zorana Đinđića” se nalazi u centru gradske opštine, na 78 m nadmorske visine. Od glavnog izvora zagađenja,

Termoelektrane „Nikola Tesla A” („TENT A”) je udaljen oko 4 km, dok je od „Nikola Tesla B“ („TENT B“) udaljen 15 km (Slika 1).

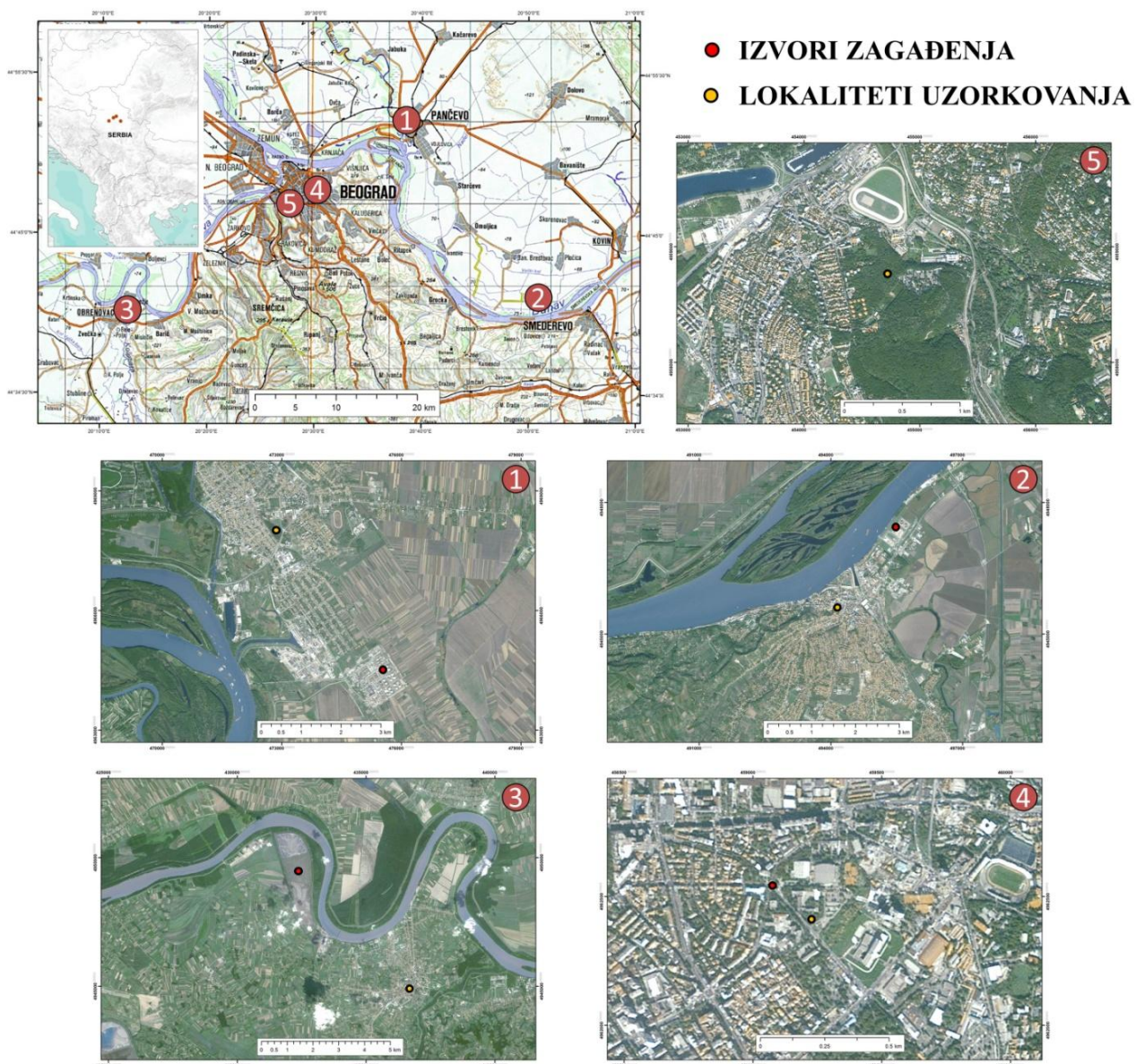
2.5.4 Beograd – „Park Pionir”

„Park Pionir” se nalazi na 44° 48' s.g.š. i 20° 29' i.g.d, na nadmorskoj visini od 104 m. U njegovoj neposrednoj blizini je nekoliko velikih saobraćajnica poput Bulevara Despota Stefana, Mije Kovačevića, Dragoslava Srejovića, kao i Pančevački most, a od najbliže industrijske zone u opštini Palilula udaljen je oko 1 km. Upravo su saobraćaj i nekadašnja industrijska zona najveći izvori zagađenja. Prema podacima Republičkog zavoda za statistiku, oko 27200 vozila prođe pored ovog parka na dnevnom nivou. Zelene površine oko „Parka Pionir” zauzimaju površinu oko 50000 m². Ove površine su fragmentisane velikim brojem betonskih staza, parkinga i sličnog (Slika 1).

2.5.5 Beograd – „Topčiderski park”

„Topčiderski park” je jedan od najvažnijih kulturno-istorijskih parkova u Srbiji, park izuzetne vrednosti, smešten u dolini reke Topčider, na 10 km udaljenosti od centralnog gradskog jezgra. Prostire se na površini od oko 35 ha, na 44° 46' s.g.š. i 20° 26' i.g.d., na nadmorskoj visini od 80 m. Prvo uređenje i formiranje parka se vezuje za davnu 1831. godinu, odnosno period vladavine kneza Miloša Obrenovića, kada je na njegov zahtev okupljen veliki broj arhitekata, inženjera, graditelja i umetnika. Topčiderski park je prvi koji je koncipiran po evropskim standardima na teritorije Srbije. Ovaj prostor je 1987. godine utvrđen za kulturno dobro od izuzetnog značaja za Republiku Srbiju sa režimom zaštite trećeg stepena.

Vegetacija u parku predstavlja deo velike mešovite šumske zajednice hrasta sladuna i cera (*Quercetum frainetto-cerris* Rudski 1949), koja je sastavni deo šume Košutnjak. Uređeni deo parka pokriva površinu od 12 ha i na njoj je prisutno više od 1500 individua drvenastih i žbunastih vrsta biljaka (Slika 1).



Slika 1. Lokalizacije uzorkovanja i njihova udaljenost od glavnih izvora zagađenja: (1) Pančevo, (2) Smederevo, (3) Obrenovac, (4) Beograd, (5) kontrolno stanište

3. OPŠTE KARAKTERISTIKE ISPITIVANIH DRVENASTIH VRSTA BILJAKA

3.1 Crni bor (*Pinus nigra* Arn.)

Red: *Pinales*

Familija: *Pinaceae*

Rod: *Pinus* L.

Vrsta: *Pinus nigra* Arn.



Slika 2. Crni bor (*Pinus nigra* Arn.)

Rod *Pinus* broji oko 80 pretežno drvenastih večnozelenih vrsta, koje su rasprostranjene na različitim staništima severne hemisfere. Familija *Pinaceae* ima izrazito diskontinuiran areal. Prirodno je rasprostranjen u južnoj Evropi, severozapadnoj Africi i Maloj Aziji (Vukićević 1996). U zavisnosti od staništa *P. nigra* (Slika 2) može da naraste do 40 m visine (Jovanović 1985). Krošnja mladih jedinki je piramidalna, kasnije zaobljeno jajasta, i tek se u većoj starosti zasvodi na vrhu. Kora je na odraslom stablu debela, tamnosiva i rano ispuca u nepravilnim brazdama. U gornjem delu stabla, gde se gube uzdužne brazde, kora je ravnomernije boje i strukture, crvenkasto sive boje. Mlade grančice su gole, sjajne i pokrivene sitnim rombičnim ljuspama. Pupoljci su cilindrični,

pri vrhu oštro zašiljeni, dugi od 12-24 mm i većinom smolasti. Četine po dve, su tamno zelene i krute, duge od 8-18 cm, široke 1.5-2.1 mm, prave ili malo uvijene, traju 4 do 5 godina. *P. nigra* samostalno, van sklopa, počinje da cveta posle petnaeste godine, dok u šumskom sklopu tek nakon tridesete godine. Cveta u aprilu-maju i cvetovi su jednopolni. Muški cvetovi su organizovani u rese, žućkasti, oko 2 cm dugi, dok su ženski cvetovi pojedinačni. Šišarke su gotovo sedeće i jajasto-kupaste. Seme crnog bora prosečno je dugačko 5-7 mm i široko do 4 mm, žućkasto-belo do sivo-smeđe boje (Jovanović 1985). Klijavost semena traje 2-4 godine. Mladice *P. nigra* imaju najčešće 7-9 kotiledona plavičasto-zelene boje. Korenov sistem je razgranat i jak. U mladosti *P. nigra* raste brzo, kasnije smanjuje visinski, a povećava debljinski prirast.

P. nigra je heliofilna vrsta, veoma dobro prilagođena uslovima suše i spada među najskromnije vrste u pogledu zahteva staništa (Jovanović 1985; Vukićević 1996). Može da se održi u krajnje ekstremnim uslovima nagiba i podloge, na često skeletnom zemljištu i na gotovo potpuno okomitim krečnjačkim, dolomitskim i serpentinskim liticama. U pogledu nadmorske visine, naseljava staništa u opsegu od 400-1300 m. Zbog toga predstavlja jednu od najvažnijih vrsta za pošumljavanje suvih i kamenitih terena (Jovanović 1985; Vukićević 1996).

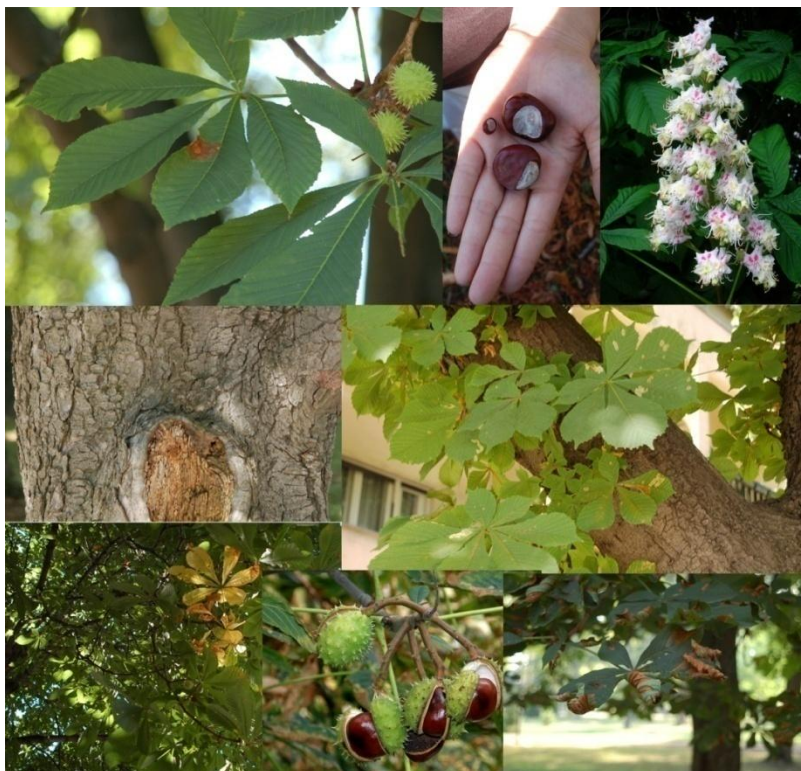
3.2 Divlji kesten (*Aesculus hippocastanum* L.)

Red: *Sapindales*

Familija: *Hippocastanaceae*

Rod: *Aesculus* L.

Vrsta: *Aesculus hippocastanum* L.



Slika 3. Divlji kesten (*Aesculus hippocastanum* L.)

Rod obuhvata 25 vrsta drveća, ređe žbunastih formi, koje su rasprostranjene u umerenom klimatu severne hemisfere. *Aesculus hippocastanum* ili divlji kesten je terciarni relikv i endemična vrsta južnog dela Balkanskog poluostrva (Bugarska, Makedonija, Albanija, Grčka). Njegova rasprostranjenost je pre ledenog doba obuhvatala i predele srednje Evrope, ali se njegov areal danas zadržao na Balkanskom poluostrvu, pre svega na bregovima, najčešće ispod zone jelovih šuma severne Grčke. Toleriše mrazeve i niske temperature do $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Jovanović 1985). Najbolje raste na humusom bogatom i dubokom zemljištu, dok na veoma vlažnom, glinovitom ili suvom i peskovitom zemljištu ne uspeva dobro (Vukićević 1996).

U povoljnim uslovima staništa dostiže visinu od 30 m, sa prečnikom stabla do 1 m. Kruna *A. hippocastanum* je široka i razgranata, jajasto-okrugla sa retkim granama. Kora je u dugom vremenskom periodu glatka, kasnije se brazda i puca. Korenov sistem je površinski i moćno razvijen. Grančice su debele, sa upadljivim lisnim tragovima. Pupoljci su naspramni, ovalno-zašiljeni, sa smeđim, priljubljenim ljuspama koje su smolasto lepljive. Listovi su prstenasto deljeni sa obično 7, ređe 5 listića na zajedničkoj, dugačkoj dršci. Listovi su pri osnovi klinasti, sedeći, dok su u gornjem delu zašiljeni, 8-

20 cm dugi i 4-10 cm široki. Nakon 10-15 godina postiže fizičku zrelost, a potom cveta svake godine. Cvetanje je obično odmah nakon listanja u maju. Cvetovi su organizovani u velikim uspravno stojećim metličastim cvastima. Plod je mesnata čaura pokrivena mekim izraštajima poput bodlja, sastaljena iz tri karpele. Čaura sadrži 1-3 semena, koja su usled međusobnog pritiska često spljoštena. Seme sazreva u periodu septembar-oktobar (Jovanović 1985; Tucović 1973).

A. hippocastanum se smatra najlepšom evropskom lišćarskom vrstom zbog svog moćnog habitusa, kompaktne široke, ovalne i guste krošnje, ornamentalnih i krupnih listova i velikih belih cvasti (Vukićević 1996).

3.3 Javorolisni platan (*Platanus acerifolia* (Ait.) Willd.)

Red: *Proteales*

Familija: *Platanaceae*

Rod: *Platanus* L.

Vrsta: *Platanus acerifolia* (Ait.) Willd.

P. acerifolia (Slika 4) pripada monotipskoj familiji *Platanaceae*, odnosno rodu *Platanus*. Ova vrsta platana je poreklom iz zapadne Evrope i predstavlja najčešće gajenu vrstu na teritoriji Srbije i u Evropi. *P. acerifolia* je hibrid i smatra se da je nastao ukrštanjem *P. orientalis* i *P. occidentalis*, a zatim je proširio areal širom Evrope, tokom XVIII veka, kao brzorastuća i otporna vrsta. Dostiže visinu do 40 m i prečnik stabla do 2-3 m (Jovanović 1985).

Glatka kora se ljušti u krupnim i tankim ljuspama. Koren je dubok i moćan, što omogućava biljci da uspešno podnosi povremene periode suše na staništu. Mlade grančice su dlakave.



Slika 4. Javorolisni platan (*Platanus acerifolia* Willd.)

Lisna ploča je široka 12-25 cm sa 3-5 režnjeva. Režnjevi su trougaoni i malo nazubljeni. Lice i naličje mladih listova su dlakavi, a stariji manje-više goli. Lisna drška je takođe gusto dlakava, duga 4-10 cm. Plod su ahenije koje formiraju krupni loptastu stukturu prečnika oko 3 cm. Ova vrsta veoma brzo raste i dobro uspeva na svežem aluvijalnom zemljištu. Smatra se da je otporna na atmosfersko zagađenje, pa je mogućnost njenog gajenja u gradovima izuzetno velika (Vukičević 1996).

4. MATERIJAL I METODE

Uzorkovanje zemljišta i biljnog materijala je izvršeno u tri sezonska preseka (jun, avgust i oktobar) tokom 2012. godine. Ova godina je bila jedna od najsušnijih i najtoplijih od kada su uvedena sistematska merenja klimatskih parametara (1960-2010). U odnosu na prosečne godišnje vrednosti, tokom 2012. godine su zabeležena 62 tropska dana sa dnevnim temperaturama višim od 30 °C (40 dana više u odnosu na prosečne vrednosti) i 52 tropske noći sa prosečnim vrednostima višim od 20 °C. Slična situacija je utvrđena i za prosečnu godišnju sumu padavina na teritoriji Srbije, koja je varirala između 30.9 i 112.3 mm, što predstavlja svega 17-69 % prosečnih vrednosti padavina u odnosu na posmatrani referentni period (1981-2010, Smailagić et al. 2012).

4.1 Uzorkovanje i analiza zemljišta

Za određivanje fizičko-hemijskih osobina zemljišta na svakom lokalitetu je formiran kompozitni uzorak na nivou parka koji je dobijen mešanjem 5 uzoraka sa 5 izabranih tačaka oko individua svake ispitivane vrste, sa dubine od 0-10 cm. Kamenje i strana tela su uklonjeni rukom, a uzorci zemljišta su spakovani u čiste polietilenske kese. Svaki kompozitni uzorak zemljišta je prvo sušen na sobnoj temperaturi tokom 10 dana, a potom u sušnici (Binder, Tuttlingen, Germany) na temperaturi od 105 °C. Nakon sušenja u sušnici, uzorci su usitnjeni i prosejani sitom sa dijametrom pora 2 mm.

Određena su sledeća *fizička svojstva zemljišta*: granulometrijski sastav zemljišta i količina higroskopne vlage. Granulometrijski sastav zemljišta je određen metodom sedimentacije kombinovanom pipet tehnikom u 0.4 N rastvoru natrijum pirofosfata. Frakcionisanje je obavljeno prema Atterberg-u 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). Higroskopna vlaga je određena nakon sušenja uzoraka na 105 °C do konstantne težine.

Od *hemijskih osobina zemljišta* izvršeno je elektrometrijsko određivanje aktivne (u H₂O, pH_{H2O}) i supstitucione (u 0.1M KCl, pH_{KCl}) kiselosti zemljišnog rastvora (pH), sadržaj ukupnog (TC) i organskog ugljenika (OC), ukupnog azota (N), kao i odnosa C/N računskim putem. Za određivanje pH zemljišta je korišćeno vazdušno suvo zemljište pomešano sa dejonizovanom vodom ili 0.1 M KCL u odnosu zemljište-voda 1:2.5. Nakon mešanja uzoraka na magnetnoj mešalici tokom približno 30 minuta, pH je

izmerena direktno u suspenziji (Dick et al. 2000). Sadržaj ukupnog ugljenika (TC) i azota (N) je određen po metodi Nelson and Sommers (1996) suvim spaljivanjem uzoraka na 1150 °C pomoću CNS aparata (CNS analyzer, Vario model EL III Elemental Analysis systems GmbH, Hanau, Germany), a organskog ugljenika (OC) i odnosa C/N računskim putem.

Organski ugljenik je izračunat po formuli:

$$OC = TC - (0.12 * [CaCo_3])$$

Sadržaj hemijskih elemenata (Al, As, B, Cd, Cr, Cu, Fe, Li, Mn, Ni, Pb, Se, Sr, Zn) u zemljištu je određen prema metodi 3051A (US EPA 3051A, 1996), pripremom uzoraka metodom vlažne digestije u mikrotalasnoj peći (CEM, 39 MDS-2000). Uzorci zemljišta korišćeni za određivanje sadržaja hemijskih elemenata su pripremljeni na isti način kao i uzorci za fizičko-hemijsku analizu zemljišta. Uzorci su prvo sušeni na sobnoj temperaturi tokom 10 dana, potom u sušnici (Binder, Tuttlingen, Germany) na temperaturi od 105 °C, a zatim su usitnjeni u laboratorijskom mlinu (Polymix, Kinematica AG) i prosejani kroz sito sa dijametrom pora 0.2 mm. Mineralizacija je vršena u teflonskim posudama tipa ACV (Advanced Composite Vessels), u pet ponavljanja (n=5). Koncentracije navedenih elemenata su merene metodom optičke emisije spektrometrije za simultanu multielementarnu analizu (SpectroGenesis Genesis Fee, Spectro-Analytical Instruments GmbH, Kleve, Nemačka). Analitička procedura je potvrđena korišćenjem standardnog referentnog materijala, koji je prošao kroz standardni postupak digestije radi kontrole kvaliteta laboratorijskog protokola za zemljište (Loam soil ERM-CC141), sa tačnošću od 100±15 %, koji je dobijen od Instituta za Referentne Materijale i Merenja (IRMM, Institute for Reference Materials and Measurements, Geel, Belgija) i sertifikovan od strane Evropske komisije (EC-JRC, European Commission - Joint Research Centre). Detekcioni limiti za elemente su bili sledeći: Al- 0.00271 mg/kg, As- 0.0111 mg/kg, B- 0.000634 mg/kg, Cd- 0.000253 mg/kg, Cr- 0.000315 mg/kg, Cu- 0.00974 mg/kg, Fe- 0.000277 mg/kg, Li- 0.0223 mg/kg, Mn- 0.000157 mg/kg, Ni- 0.00117 mg/kg, Pb- 0.016 mg/kg, Se- 0.0102 mg/kg, Sr- 0.00069 mg/kg i Zn- 0.00348 mg/kg.

U cilju *procene dostupnosti, mobilnosti i toksičnosti hemijskih elemenata*, uzorci zemljišta su podvrgnuti modifikovanoj BCR sekvencijalnoj ekstrakcionoj proceduri u 4 faze (De Andrade Passos et al. 2010; Sutherland 2010; Sakan et al. 2016):

1. Prvi ekstrakcioni korak (kiselo-rastvorna/izmenjiva frakcija): uzorci zemljišta mase 1 g su tretirani sa 40 ml 0.11 mol/L rastvora sirćetne kiseline (CH_3COOH), a potom postavljeni na rotacionu mućkalicu na sobnoj temperaturi tokom 16 sati. Dobijeni ekstrakt je odvojen od čvrste faze centrifugiranjem 20 minuta na 3000 rpm, i sačuvan je za kasnije analize.
2. Drugi ekstrakcioni korak (reducibilna frakcija; elementi vezani za okside Fe i Mn): čvrstom ostatku iz prvog koraka ekstrakcije je dodato 40 ml 0.5 M rastvora hidroksilamin-hidrohlorida (pH 1.5). Suspenzija je potom izložena mućkanju tokom 16 h na sobnoj temperaturi. Ekstrakt je potom odvojen od čvrste faze centrifugiranjem, kako je opisano u prvom ekstrakcionom koraku.
3. Treći ekstrakcioni korak (oksidabilna frakcija; elementi vezani za organsku materiju i sulfide): talozi iz drugog koraka ekstrakcije su tretirani sa 10 ml 8.8 M vodonik peroksida (H_2O_2) (pH 2) i postavljeni u vodeno kupatilo na sobnoj temperaturi 1h. Potom su zagrevani na 85 °C sve do smanjenja zapremine na ispod 3 ml. Nakon toga je opet dodato 10 ml 8.8 M H_2O_2 i uzorci su ostavljeni na temperaturi od 85 °C sve do redukcije njihove zapremine na 1 ml isparavanjem. Nakon odlivanja ekstrakta i hlađenja uzoraka, čvrstoj fazi je dodato 50 ml 1.0 M amonijum acetata (pH 2) i potom su mešani na rotacionoj mućkatici na sobnoj temperaturi tokom 16h. Ekstrakt je odvojen od čvrste faze centrifugiranjem, na isti način opisan u prva dva koraka.
4. Četvrti ekstrakcioni korak (rezidualna frakcija; elementi koji su čvrsto vezani za kristalnu strukturu minerala): talog iz trećeg ekstrakcionog koraka je tretiran sa 20 ml carske vode (15 ml 37 % HCl i 5 ml 65 % HNO_3) i zagrevan u vodenom kupatilu na 80 °C tokom 6 sati. Ohlađeni uzorci su centrifugirani i filtrirani kroz filter papir u normalne sudove i nivelisani su na zapreminu od 50 ml sa 1 M HNO_3 .

Koncentracije ekstrahovanih elemenata u svakom koraku su merene metodom optičke emisije spektrometrije za simultanu multielementarnu analizu (SpectroGenesis Genesis Fee, Spectro-Analytical Instruments GmbH, Kleve, Nemačka), a njihov sadržaj

je izražen u mg/kg suve mase zemljišta. Analitička procedura je potvrđena korišćenjem standardnog referentnog materijala (BCR 701 sediment), sa tačnošću 100 ± 15 % koji je tretiran na isti način kao i uzorci radi kontrole kvaliteta laboratorijskog protokola. Standardni referentni materijal je dobijen od Instituta za Referentne Materijale i Merenja (IRMM, Institute for Reference Materials and Measurements, Geel, Belgija) i sertifikovan od strane Evropske komisije (EC-JRC, European Commission - Joint Research Centre). Detekcioni limiti za sve ispitivane elemente su prethodno pomenuti.

4.2 Uzorkovanje i analiza biljnog materijala

Na ispitivanim lokalitetima uzimani su uzorci sa 5 izabranih stabala svake ispitivane vrste slične starosti (20-30 godina). Uzorkovanje četina/listova je izvršeno pomoću makaza od nerđajućeg čelika, na visini od 2 m od podloge sa različitih delova krošnje. Uzorci biljnog materijala za svaku pojedinačnu vrstu u okviru istog lokaliteta su izmešani u jedan kompozitni uzorak (30 g). Uzorkovanje je vršeno prema standardnoj proceduri opisanoj u naučnoj literaturi (Piczak et al. 2003; Yanqun et al. 2004; Rossini Oliva and Mingorance 2004; Sawidis et al. 2011; Šerbula et al. 2014; Kalinović et al. 2015; Kandziora-Ciupa et al. 2016). Na isti način su formirani kompozitni uzorci kore. Ljuspe spoljašnje kore, debljine 4-5 mm i maksimalnih dimenzija 3 cm^2 su pažljivo isečene pomoću noža od nerđajućeg čelika.

Transport biljnog materijala do laboratorije je vršen u papirnim označenim kesama.

Uzorci biljnog materijala su sušeni 10 dana na sobnoj temperaturi, a potom u sušnici do konstantne težine. Mlevenje prethodno usitnjenih biljnih tkiva je vršeno u mlinu sa nerđajućim sečivima (Polymix, Kinematica AG) i sitom prečnika pora 1.5 mm.

Sadržaj hemijskih elemenata (Al, As, B, Cd, Cr, Cu, Fe, Li, Mn, Ni, Pb, Se, Sr, Zn) u *biljnom materijalu* je određen prema metodi 3052 (US EPA 3052, 1996), pripremom uzoraka metodom vlažne digestije u mikrotalasnoj peći (CEM, 39 MDS-2000). Razaranje je vršeno u teflonskim posudama tipa ACV (Advanced Composite Vessels), u pet ponavljanja ($n=5$). Koncentracije elemenata merene su metodom optičke emisije spektrometrije za simultanu multielementarnu analizu (SpectroGenesis Genesis Fee, Spectro-Analytical Instruments GmbH, Kleve, Nemačka). Analitička procedura je potvrđena korišćenjem standardnog referentnog materijala - lista bukve

(Beech leaves – BCR - 100), sa tačnošću od 100 ± 15 %. Standardni referentni materijal je dobijen od Instituta za Referentne Materijale i Merenja (IRMM, Institute for Reference Materials and Measurements, Geel, Belgija) i sertifikovan od strane Evropske komisije (EC-JRC, European Commission - Joint Research Centre). Detekcioni limiti za sve ispitivane elemente su prethodno pomenuti. Sadržaj svih hemijskih elemenata je izražen u mg/kg suve mase lista/kore.

Na osnovu dobijenih koncentracija elemenata u zemljištu i biljnom materijalu određen je *biokoncentracioni faktor (BCF)* koji ukazuje na potencijalnu efikasnost uklanjanja hemijskih elemenata iz zemljišta od strane biljke. Ovaj faktor definiše odnos između dostupne količine hemijskog elementa u zemljištu i količine u biljnom materijalu ($[\text{Element}]_{\text{list ili kora}}/[\text{Element}]_{\text{zemljište}}$) (Fitz and Wenzel 2002; Migeon et al. 2009; Chen et al. 2012).

Određivanje fotosintetičke efikasnosti je izvršeno metodom indukovane fluorescencije hlorofila prema metodi Krause and Weis (1991). Merenje je izvršeno *in situ* i *in vivo* pomoću portabl fluorimetra (Plant Stress Meter, Biomonitor S.C.I.A.B, Sweden), a obavljeno je u tri sezonska preseka (jun, avgust i oktobar) u četrdeset ponavljanja ($n=40$). Pre merenja, listovi su adaptirani na tamu u trajanju od 30 min, nakon čega je list bio izložen zasićujućem pulsu aktinske svetlosti (gustine fotona od $200-400 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, trajanja 2 s). Odnos F_v/F_m se koristi kao mera fotosintetičke efikasnosti fotosistema II (PSII) i korelisan je sa brojem funkcionalno aktivnih reakcionih centara PSII.

Estrakcija i kvantifikacija pigmenata, količina hlorofila (Chl *a* i Chl *b*) i ukupnih karotenoida (Tot Carot) je određena merenjem apsorbance ekstrakta prečnika odsečka lista od 1 cm, u 1 ml dimetil sufoksida (DMSO), na talasnim dužinama od 663 nm, 645 nm i 480 nm na spektrofotometru (Shimadzu UV-160). Ekstrakt je dobijen zagrevanjem rastvarača DMSO na $65 \text{ }^\circ\text{C}$ do obezbojavanja lisnog odsečka. Koncentracija Chl *a* i Chl *b*, određena je prema formulama Arnon (1949), a koncentracije ukupnih karotenoida prema formuli Wellburn (1994). Chl *a+b* i odnos Chl *a/b* su određeni računskim putem. Vrednosti pigmenata su izražene u mg/g suve mase lista. Analiza je rađena u pet ponavljanja za svaki uzorak.

Morfološke promene na četinama i listovima ispitivanih biljaka su analizirane na svežem i herbarizovanom materijalu, pri čemu su opisani i fotografisani simptomi

oštećenja. Stanje površinskih struktura listova su ispitivane na mikrografijama dobijenim skening elektronskom mikroskopijom (SEM).

Morfološka i hemijska analiza čestica deponovanih na četinama i listovima određena je SEM mikroskopijom (JEOL, JSM-6460LV) korišćenjem EDS programa (Oxford, INCA), metodom naparavanja zlatom (BALTEC SCD005, Sputter Coater) prema metodi US EPA (2002).

4.3 Statistička obrada podataka

Analiza varijansi (Factorial ANOVA) je korišćena da bi se utvrdio stepen razlika u vrednostima merenih parametara između lokaliteta (prostorna distribucija), tokom sezone (vremenska distribucija) i između ispitivanih vrsta. Rezultati ovog istraživanja su prikazani tabelarno ili grafički kao srednja vrednost (M) i standardna devijacija (SD). Pirsonov koeficijent korelacije (p) je korišćen u cilju utvrđivanja značaja i odnosa između sadržaja hemijskih elemenata, kako u zemljištu, tako i u biljnim tkivima. Poreklo i izvori elemenata u zemljištu su određeni analizom glavnih komponenti (PCA - Principal Component Analysis), dok su razlike u sadržaju elemenata, efikasnosti fotosinteze i biljnih pigmenata u listovima ispitivanih vrsta i između lokaliteta analizirane kanonijskom diskriminantnom analizom (CDA - Canonical Discriminant Analysis). CDA je korišćena i za determinisanje razlika u sadržaju hemijskih elemenata i u kori odabranih vrsta. Statistička obrada podataka je izvršena u statističkom paketu SYSTAT 7 (Systat Software Inc. 2004), kao i u Minitabu 17.

5. REZULTATI

5.1 FIZIČKO-HEMIJSKE KARAKTERISTIKE URBANIH ZEMLJIŠTA

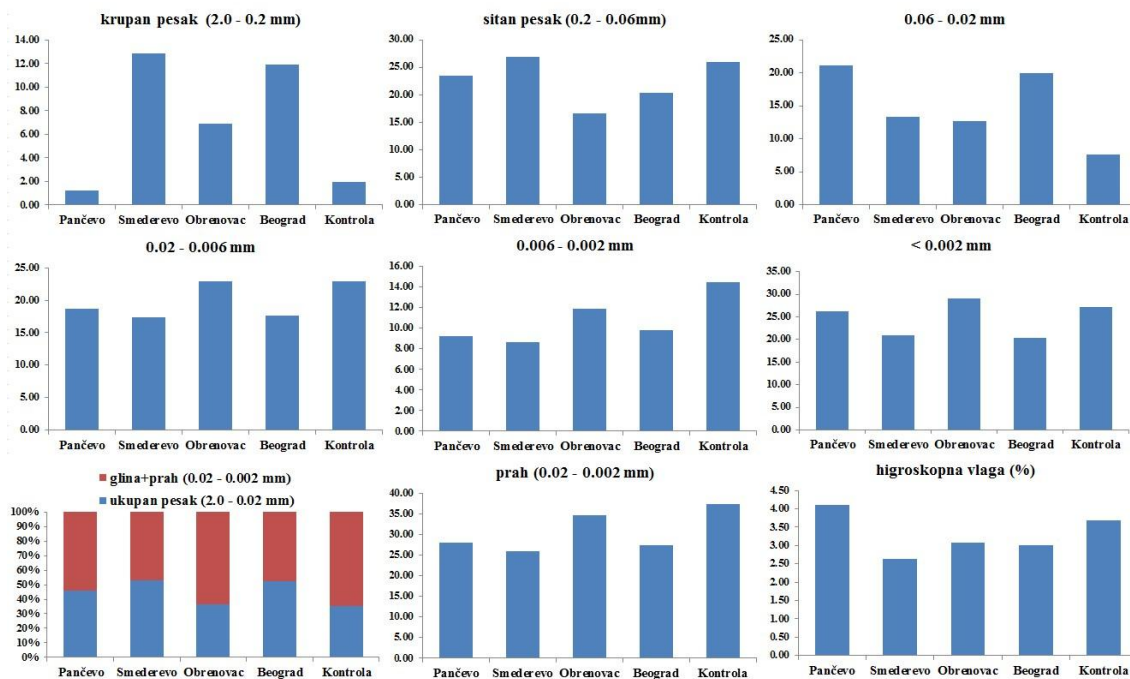
5.1.1 Fizičke karakteristike urbanih zemljišta

Frakcija krupnog peska (čestice veličine od 2.0 do 0.2 mm) u zemljištu u gradskim parkovima na istraživanim lokalitetima se kretala od 1.12 % u Pančevu do 12.85 % u Smederevu (Slika 5). Udeo frakcije sitnog peska (čestice veličine od 0.2 do 0.06 mm) u analiziranom zemljištu je varirao od 16.65 % u Obrenovcu do 26.93 % u Smederevu (Slika 5). Sadržaj frakcije praha koje čine čestice veličine od 0.02 do 0.002 mm se kretao u opsegu od 25.95-37.29 %, pri čemu je najveći sadržaj ove frakcije utvrđen na kontrolnom staništu, a najmanji u gradskom parku u Smederevu (Slika 5). Sadržaj gline (čestice manje od 0.002 mm) je bio relativno ravnomerno zastupljen i iznosio je od 20.34-29.02 %, sa najnižim sadržajem izmerenim u Beogradu, a najvišim sadržajem u gradskom parku u Obrenovcu (Slika 5).

Na osnovu rezultata ispitivanja garnulometrijskog sastava koji su prikazani na slici 5 može se ustanoviti da u gradskim parkovima u Smederevu i Beogradu preovladava frakcija ukupnog peska, dok je sadržaj gline i praha viši u gradskim parkovima u Obrenovcu i na kontrolnom staništu u Topčiderskom parku. U gradskom parku u Pančevu je približno sličan sadržaj gline i praha, i ukupnog peska.

Na osnovu sadržaja gline, praha i ukupnog peska, imajući u vidu američku klasifikaciju Ćirić (1962), koja se zasniva na specifično konstruisanom trouglu koji se koristi za klasifikaciju zemljišta na osnovu mehaničkog sastava, u gradskim parkovima u Pančevu, Smederevu i u Beogradu je utvrđen tip zemljišta peskovito–glinovita ilovača, dok je u gradskim parkovima u Obrenovcu i na kontrolnom staništu ustanovljen tip glinovita ilovača.

Zbog relativno visokog sadržaja ukupnog peska, procenat higroskopne vlage u zemljištu je bio veoma nizak i kretao se u intervalu od 2.64-4.11 %. Najniže procentualne vrednosti higroskopne vlage su izmerene u gradskom parku u Smederevu. Niže vrednosti higroskopne vlage su utvrđene na svim lokalitetima koji se odlikuju visokim sadržajem ukupnog peska. Najviši procenat vlage je izmeren u zemljištu u Pančevu (Slika 5).

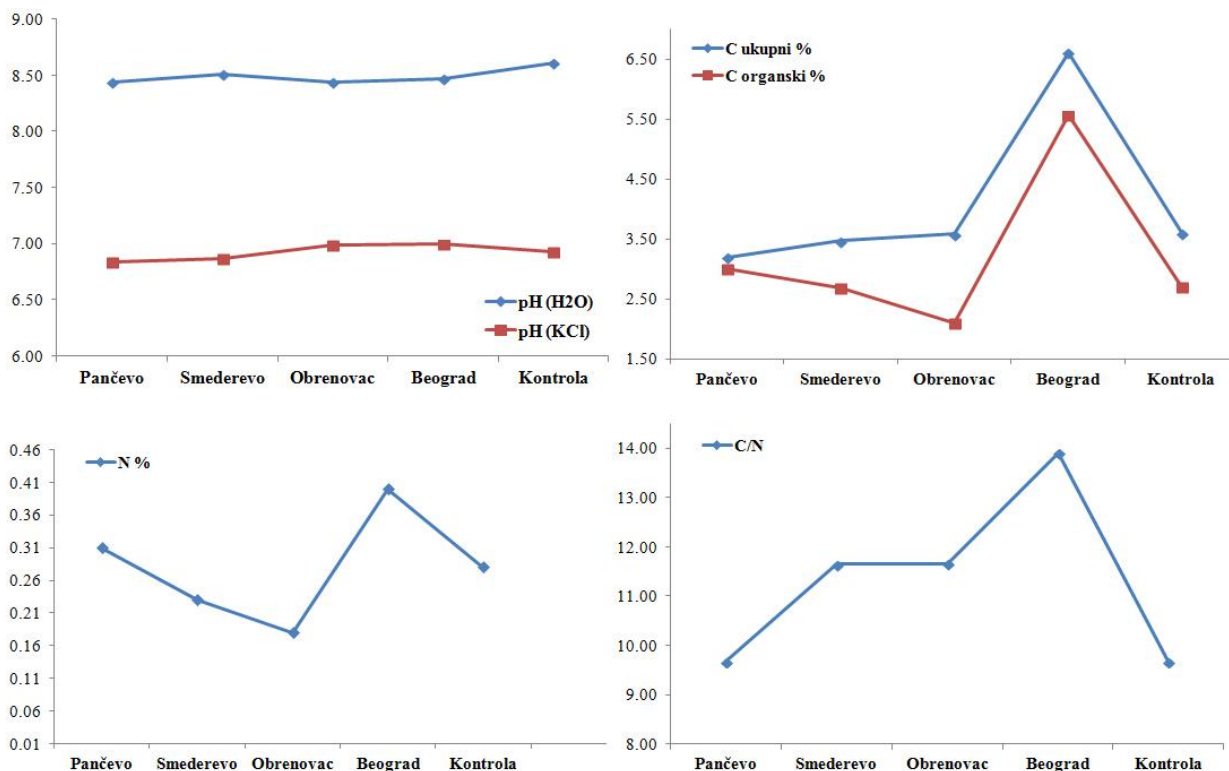


Slika 5. Fizičke karakteristike zemljišta na ispitivanim lokalitetima (granulometrijski sastav izražen u %)

5.1.2 Hemijske karakteristike urbanih zemljišta

Na ispitivanim parkovskim površinama, pH reakcija zemljišta u vodenom rastvoru se kretala u uskom opsegu od 8.44 (Pančevo, Obrenovac) do 8.61 (kontrolno stanište), što ih svrstava u umereno alkalna (US Soil Survey Division Staff, 1993) (Slika 6). Supstitaciona kiselost (pH u KCl) na ispitivanim lokalitetima se takođe kretala u uskom opsegu, od 6.84 u Pančevu do 7.00 u parku Pionir u Beogradu, što svrstava ova zemljišta u neutralna (Slika 6). Najmanja koncentracija ukupnog ugljenika (TC %) je izmerena u zemljištu parka „Narodne bašte“ u Pančevu, dok je najviša vrednost izmerena u parku Pionir u Beogradu (6.61 %) (Slika 6). Količina organskog ugljenika (OC %) na ispitivanim površinama je bila najmanja u zemljištu iz Obrenovca (2.10 %), a najveća u Beogradu (5.56 %) (Slika 6). Količina azota (N %) je, slično kao i za OC, bila najniža u parku „Trg dr Zorana Đinđića“ u Obrenovcu (0.18 %), a najviša u parku Pionir u Beogradu (0.40 %) (Slika 6). Sadržaj ugljenika i azota je pokazao prostornu pravilnost u dostizanju najviših, odnosno najnižih koncentracija. Rezultati zemljišta na ispitivanim lokalitetima pokazuju povoljan i ujednačen odnos C/N, koji se kretao u

opsegu od 9.67 u Pančevu i na kontrolnom staništu do 13.9 u parku Pionir u Beogradu (Slika 6).



Slika 6. Hemijske karakteristike ispitivanih zemljišta: pH (H₂O), pH (KCl), sadržaj ukupnog C (%), sadržaj organskog C (%), sadržaj N (%), odnos C/N

5.1.3 Sadržaj hemijskih elemenata u urbanim zemljištima

Sadržaj i razlike u koncentraciji hemijskih elemenata (Al, As, B, Cd, Cr, Cu, Fe, Li, Mn, Ni, Pb, Se, Sr i Zn) u zemljištu oko ispitivanih vrsta su analizirane na osnovu prostorne dinamike (Tabela 1). Prisustvo Cd i Se nije detektovano ni u jednom uzorku zemljišta, dok je As sporadično izmeren u uzorcima sa pojedinih lokaliteta. Dvofaktorska analiza varijansi (factorial ANOVA) je pokazala da oba faktora varijabilnosti (vrsta i lokalitet) imaju značajan uticaj na razlike u sadržaju hemijskih elemenata u zemljištu u ispitivanim urbanim parkovima ($p < 0.001$), ali da dominantnu ulogu ima lokalitet. Biljna vrsta je imala veći uticaj na sadržaj Pb, dok je u slučaju Al to bio kombinovani faktor vrsta*lokalitet (Tabela 1). Sadržaj elemenata u površinskom sloju urbanog zemljišta uzorkovanog oko individua ispitivanih vrsta drveća je prikazan u Tabeli 2.

Tabela 1. Uticaj vrste i lokaliteta na razlike u sadržaju hemijskih elemenata u ispitivanom zemljištu (p-stepen značajnosti: *p<0.05, **p<0.001, ***p<0.001, ns–nema značajnih razlika)

Hemijski element		Vrsta	Lokalitet	Vrsta* Lokalitet
Al	F	48.9	1872.3	2249.7
	p	***	***	***
B	F	22.0	606.9	173..3
	p	***	***	***
Cr	F	23.6	312.2	44.6
	p	***	***	***
Cu	F	734.1	800.4	356.6
	p	***	***	***
Fe	F	255.7	1991.5	820.4
	p	***	***	***
Li	F	2.1	435.18	175.2
	p	ns	***	***
Mn	F	339.9	930.6	571.7
	p	***	***	***
Ni	F	525.0	2555.1	151.1
	p	***	***	***
Pb	F	2220.7	1914.7	1471.9
	p	***	***	***
Sr	F	73.8	363.2	266.4
	p	***	***	***
Zn	F	513.9	3386.1	570.4
	p	***	***	***

Sadržaj Al u zemljištu oko ispitivanih vrsta je imao širok opseg od 10019.41 mg/kg izmerenih ispod *A. hippocastanum* u Beogradu, do 50045.92 mg/kg takođe ispod *A. hippocastanum* u Obrenovcu, dok su se u zemljištu ispod *P. nigra* vrednosti kretale u značajno užem opsegu od 24869.53 mg/kg u Obrenovcu do 30535.01 mg/kg u Pančevu. Najniže koncentracije Al u zemljištu oko *P. acerifolia* su izmerene u Smederevu (20675.21 mg/kg), a najviše u Beogradu (32580.71 mg/kg). S obzirom da je sadržaj Al u zemljištu uslovljen uslovima na staništu (faktor lokalitet) i vrstom, iz postojećih rezultata nije moguće uočiti pravilnost u odnosu na izdvajanje lokaliteta sa najvećim sadržajem Al. U uzorcima zemljišta sa svih lokaliteta na kojima rastu ispitivane vrste biljaka su utvrđene značajne razlike u sadržaju Al u odnosu na kontrolno stanište (p<0.001) (Tabela 2)

Slično Al, sadržaj B u zemljištu oko ispitivanih vrsta se kretao u opsegu od 105.09 mg/kg ispod *A. hippocastanum* u Beogradu, do najviših 214.74 mg/kg takođe izmerenih ispod *A. hippocastanum* u Obrenovcu. U zemljištu ispod *P. nigra* vrednosti najnižih i najviših koncentracija su izmerene u Beogradu (148.85 mg/kg), odnosno

Obrenovcu (175.35 mg/kg). Za razliku od zemljišta ispod *A. hippocastanum* i *P. nigra*, najniže vrednosti B kod *P. acerifolia* su izmerene u Smederevu (129.91 mg/kg), a najviše opet u Obrenovcu (190.02 mg/kg). Primetno je da su najviše vrednosti B kod sve tri vrste uvek izmerene u Obrenovcu. U zemljištu sa svih lokaliteta na kojima rastu *A. hippocastanum* i *P. acerifolia* su utvrđene razlike u sadržaju B u odnosu na kontrolno stanište, kao i u zemljištu ispod *P. nigra* iz Obrenovca ($p < 0.001$) i Beograda ($p < 0.05$). Nasuprot tome, u zemljištu oko *P. nigra* iz Pančeva i Smedereva nisu utvrđene razlike (ns) u odnosu na kontrolno stanište (Tabela 2).

Koncentracija Cr u zemljištu se kretala u opsegu od 67.16 mg/kg izmerenih na kontrolnom staništu ispod *P. acerifolia* do 126.01 mg/kg ispod *P. nigra* u Smederevu. Veća variranja između najnižih i najviših izmerenih vrednosti su utvrđene u zemljištu ispod *P. nigra* i *A. hippocastanum*. Najviše vrednosti u zemljištu oko *P. acerifolia* su izmerene u Smederevu (105.05 mg/kg). Dva lokaliteta koja su se izdvojila na osnovu najvišeg sadržaja Cr su Smederevo i Obrenovac. Zemljište u Pančevu i Beogradu oko *P. nigra*, kao i u Pančevu oko *A. hippocastanum* i *P. acerifolia* je imalo sličan sadržaj (ns) Cr u odnosu na kontrolno stanište. Na svim ostalim lokalitetima su utvrđene značajne razlike ($p < 0.001$) (Tabela 2).

Najniža koncentracija Cu u istraživanim zemljištima je izmerena ispod *P. acerifolia* u Pančevu (14.28 mg/kg), dok je najviša utvrđena ispod *P. nigra* u Smederevu (64.13 mg/kg). U uzorcima zemljišta ispod *P. nigra* i *A. hippocastanum* su postojala značajnija variranja između najnižih, odnosno najviših izmerenih vrednosti, za razliku od uzoraka zemljišta ispod *P. acerifolia* gde je sadržaj Cu bio relativno ujednačen. U uzorcima sa svih lokaliteta su utvrđene razlike u sadržaju Cu u poređenju sa kontrolnim staništem, osim u Obrenovcu ispod *A. hippocastanum* i *P. acerifolia* (ns) (Tabela 2).

Vrednosti koje se odnose na sadržaj Fe u zemljištu su se kretale u opsegu od 17421.18 mg/kg ispod *A. hippocastanum* u Beogradu, do najviših 37996.67 mg/kg takođe izmerenih ispod *A. hippocastanum* u Obrenovcu. Najniže koncentracije Fe u zemljištu ispod *P. nigra* su zabeležene na kontrolnom staništu (26030.91 mg/kg), dok su najviše takođe izmerene u Obrenovcu (31024.34 mg/kg). Najniže vrednosti Fe u zemljištu ispod *P. acerifolia* su izmerene u Smederevu (21035.17 mg/kg), a najviše, kao i kod *A. hippocastanum* i *P. nigra*, u Obrenovcu (30368.18 mg/kg). Kao i u slučaju B,

najviše vrednosti Fe kod sve tri vrste su uvek izmerene u Obrenovcu. U zemljištu ispod *P. nigra* iz Smedereva i Beograda, kao i *A. hippocastanum* u Pančevu su izmerene slične koncentracije Fe kao na kontrolnom staništu (ns). U uzorcima sa svih ostalih lokaliteta ispod ispitivanih vrsta su utvrđene značajne razlike ($p < 0.001$) (Tabela 2).

Koncentracija Li u zemljištu se kretala u opsegu od 54.77 mg/kg u Beogradu do 134.10 mg/kg ispod *A. hippocastanum* u Obrenovcu. U uzorcima zemljišta ispod *P. nigra* i *A. hippocastanum* je utvrđen veliki opseg između najnižih i najviših vrednosti. Najveći sadržaj Li u zemljištu ispod *P. nigra* je izmeren u Obrenovcu (100.23 mg/kg). Sadržaj Li u zemljištu ispod *P. acerifolia* sa različitih lokaliteta je bio relativno ujednačen, sa najnižim vrednostima izmerenim u Smederevu (75.08 mg/kg), a najvišim u Obrenovcu (94.64 mg/kg). Poput B i Fe, i za Li su najviše vrednosti uvek utvrđene u zemljištu sve tri vrste iz Obrenovca. U zemljištu ispod *A. hippocastanum* iz Smedereva, kao i *P. acerifolia* u Pančevu i Beogradu nisu utvrđene razlike u sadržaju Li u odnosu na kontrolno stanište (ns). U uzorcima sa svih ostalih lokaliteta su uočene značajne razlike ($p < 0.001$) (Tabela 2).

Sadržaj Mn u zemljištu se kretao u opsegu od minimalnih 365.45 mg/kg ispod *A. hippocastanum* u Beogradu do maksimalnih 773.61 mg/kg takođe izmerenih ispod *A. hippocastanum* u Obrenovcu. I u zemljištu oko *P. nigra* su najniže, odnosno najviše vrednosti Mn izmerene na istim lokalitetima kao i kod *A. hippocastanum*, u Beogradu (523.94 mg/kg), odnosno Obrenovcu (691.87 mg/kg). Nasuprot *A. hippocastanum* tome, najniže vrednosti Mn u zemljištu oko *P. acerifolia* su izmerene u Smederevu (451.87 mg/kg), a najviše u Beogradu (680.53 mg/kg). U zemljištu ispod *P. nigra* i *P. acerifolia* iz Smedereva nisu utvrđene razlike u koncentraciji Mn u odnosu na kontrolno stanište (ns), za razliku od ostalih lokaliteta ($p < 0.001$) (Tabela 2).

Najviši sadržaj Ni u zemljištu je izmeren na lokalitetu u Smederevu ispod sve tri vrste. Najniže koncentracije ispod *P. nigra* (35.19 mg/kg), odnosno *A. hippocastanum* (27.40 mg/kg) su utvrđene u Beogradu, a kod *P. acerifolia* u Pančevu (21.92 mg/kg). Razlike u sadržaju Ni nisu konstatovane u zemljištu *P. nigra* i *P. acerifolia* iz Beograda, kao i *A. hippocastanum* i *P. acerifolia* iz Pančeva u odnosu na kontrolno stanište (ns). Nasuprot tome, značajne razlike ($p < 0.001$) su utvrđene na ostalim lokalitetima (Tabela 2).

Količina Pb u zemljištu se kretala u opsegu od najnižih 53.84 mg/kg u zemljištu ispod *P. acerifolia* na kontrolnom staništu, do najviših 289.04 mg/kg izmerenih u zemljištu ispod *A. hippocastanum* u Beogradu. Opseg variranja između najnižih i najviših vrednosti u uzorcima zemljišta uzorkovanih ispod sve tri vrste je bio izuzetno veliki u zavisnosti od lokaliteta, pri čemu su najizraženija variranja uočena na primeru *A. hippocastanum*, a najmanje u zemljištu na kojima raste *P. acerifolia*. U uzorcima ispod *P. acerifolia*, najviši sadržaj Pb je izmeren u Beogradu (83.67 mg/kg), a razlika u odnosu na najnižu koncentraciju izmerenu na kontrolnom staništu iznosi 29.83 mg/kg. Najniže vrednosti Pb u zemljištu ispod *P. nigra* su utvrđene u Obrenovcu (56.38 mg/kg), a najviše u Smederevu (113.63 mg/kg). U zemljištu *P. nigra* iz Pančeva i Beograda, odnosno *A. hippocastanum* iz Smedereva i Obrenovca je utvrđen sličan sadržaj Pb (ns) u odnosu na kontrolno stanište, dok su na svim ostalim lokalitetima zabeležene razlike ($p < 0.001$, $p < 0.01$) (Tabela 2).

Pančevo se izdvojilo kao lokalitet gde su u zemljištu ispod sve tri vrste izmerene najniže koncentracije Sr. Nasuprot tome, najviši sadržaj u zemljištu *P. nigra* (76.34 mg/kg) i *A. hippocastanum* (81.26 mg/kg) je izmeren u Beogradu, a ispod *P. acerifolia* u Obrenovcu (74.65 mg/kg). Razlike u sadržaju Sr u zemljištu nisu utvrđene (ns) samo ispod *A. hippocastanum* u Pančevu u poređenju sa kontrolnim staništem. Na svim ostalim lokalitetima su uočene razlike ($p < 0.001$; $p < 0.05$) (Tabela 2).

Sadržaj Zn u zemljištu je imao širok opseg između najnižih vrednosti izmerenih na kontrolnom staništu ispod *P. acerifolia* (44.26 mg/kg) do najviših vrednosti zabeleženih ispod *A. hippocastanum* u Beogradu (188.43 mg/kg). Najniže vrednosti Zn u zemljištu ispod *P. nigra* su izmerene u Pančevu (54.73 mg/kg), *A. hippocastanum* u Obrenovcu (60.31 mg/kg), dok su najviše vrednosti u zemljištu *P. nigra* (151.26 mg/kg) i *P. acerifolia* (185.07 mg/kg) izmerene u Smederevu. Postojeći rezultati ukazuju na činjenicu da se urbani parkovi u Smederevu i Beogradu izdvajaju po najvišim koncentracijama Zn u zemljištu. U zemljištu *P. nigra* iz Obrenovca i Beograda, kao i *A. hippocastanum* iz Pančeva nisu utvrđene razlike (ns) u sadržaju Zn u odnosu na kontrolno stanište. Na ostalim lokalitetima su uočene statistički značajne razlike ($p < 0.001$; $p < 0.05$) (Tabela 2).

Tabela 2. Sadržaj Al, B, Cr, Cu, Fe i Li u zemljištu ispod ispitivanih vrsta u Pančevu (P), Smederevu (S), Obrenovcu (O), Beogradu (B) i na kontrolnom staništu (K) (ANOVA, n=5, *p<0.05, **p<0.001, ***p<0.001, ns – nema značajnih razlika)

Al (mg/kg)	<i>Pinus nigra</i>					<i>Aesculus hippocastanum</i>					<i>Platanus acerifolia</i>							
	M (SD)	P	S	O	B	K	M (SD)	P	S	O	B	K	M (SD)	P	S	O	B	K
Pančevo	30535.01 (251.92)	/	***	***	***	***	33377.53 (104.41)	/	***	***	***	***	31762.52 (966.81)	/	***	***	ns	***
Smederevo	26065.02 (155.73)	***	/	***	***	***	17041.14 (113.82)	***	/	***	***	***	20675.21 (714.52)	***	/	***	***	***
Obrenovac	24869.53 (153.11)	***	***	/	***	***	50045.92 (112.23)	***	***	/	***	***	24904.70 (752.04)	***	***	/	***	***
Beograd	28543.52 (157.60)	***	***	***	/	***	10019.41 (193.12)	***	***	***	/	***	32580.71 (449.65)	ns	***	***	/	***
Kontrola	27108.64 (155.44)	***	***	***	***	/	31975.40 (226.37)	***	***	***	***	/	26699.92 (260.27)	***	***	***	***	/
B (mg/kg)	<i>Pinus nigra</i>					<i>Aesculus hippocastanum</i>					<i>Platanus acerifolia</i>							
Pančevo	155.01 (0.49)	/	ns	***	ns	ns	155.01 (0.57)	/	***	***	***	***	161.88 (3.49)	/	***	***	ns	***
Smederevo	162.02 (3.08)	ns	/	***	***	ns	129.73 (4.58)	***	/	***	***	**	129.91 (3.57)	***	/	***	***	*
Obrenovac	175.35 (2.29)	***	***	/	***	***	214.74 (2.59)	***	***	/	***	***	190.02 (2.28)	***	***	/	***	***
Beograd	148.85 (2.95)	ns	***	***	/	*	105.09 (4.95)	***	***	***	/	***	161.93 (3.45)	ns	***	***	/	***
Kontrola	158.33 (3.16)	ns	ns	***	*	/	139.74 (1.12)	***	**	***	***	/	139.21 (3.00)	***	*	***	***	/
Cr (mg/kg)	<i>Pinus nigra</i>					<i>Aesculus hippocastanum</i>					<i>Platanus acerifolia</i>							
Pančevo	87.32 (15.52)	/	***	***	ns	ns	86.64 (0.82)	/	**	***	***	ns	68.41 (0.94)	/	***	***	**	ns
Smederevo	126.01 (3.41)	***	/	***	***	***	98.48 (8.28)	**	/	***	***	***	105.05 (7.51)	***	/	ns	***	***
Obrenovac	93.33 (0.77)	***	***	/	***	***	125.66 (3.86)	***	***	/	***	***	101.47 (2.97)	***	ns	/	***	***
Beograd	72.08 (2.49)	ns	***	***	/	ns	68.72 (0.26)	***	***	***	/	**	81.59 (4.51)	**	***	***	/	***
Kontrola	74.05 (11.68)	ns	***	***	ns	/	81.34 (2.04)	ns	***	***	**	/	67.16 (2.40)	ns	***	***	***	/
Cu (mg/kg)	<i>Pinus nigra</i>					<i>Aesculus hippocastanum</i>					<i>Platanus acerifolia</i>							
Pančevo	20.87 (1.18)	/	***	ns	ns	***	15.88 (0.20)	/	***	***	***	***	14.28 (1.13)	/	***	ns	***	***
Smederevo	64.13 (0.23)	***	/	***	***	***	35.84 (2.87)	***	/	***	***	***	22.39 (0.58)	***	/	***	ns	**
Obrenovac	20.93 (0.08)	ns	***	/	ns	***	20.14 (0.82)	***	***	/	***	ns	15.86 (1.57)	ns	***	/	***	ns
Beograd	19.55 (0.43)	ns	***	ns	/	***	40.95 (0.25)	***	***	***	/	***	22.27 (1.54)	***	ns	***	/	**
Kontrola	36.98 (0.93)	***	***	***	***	/	20.54 (0.66)	***	***	ns	***	/	18.38 (0.64)	***	**	ns	**	/
Fe (mg/kg)	<i>Pinus nigra</i>					<i>Aesculus hippocastanum</i>					<i>Platanus acerifolia</i>							
Pančevo	29995.11 (77.75)	/	***	**	***	***	29446.94 (63.05)	/	***	***	***	ns	26543.42 (258.81)	/	***	***	***	***
Smederevo	26792.90 (61.21)	***	/	***	ns	ns	23008.35 (81.26)	***	/	***	***	***	21035.17 (588.72)	***	/	***	***	***
Obrenovac	31024.34 (88.05)	**	***	/	***	***	37996.67 (70.26)	***	***	/	***	***	30368.18 (348.63)	***	***	/	***	***
Beograd	26665.81 (72.29)	***	ns	***	/	ns	17421.18 (72.10)	***	***	***	/	***	28904.32 (791.94)	***	***	***	/	***
Kontrola	26030.91 (127.01)	***	ns	***	ns	/	30154.32 (52.20)	ns	***	***	***	/	23454.24 (322.97)	***	***	***	***	/
Li (mg/kg)	<i>Pinus nigra</i>					<i>Aesculus hippocastanum</i>					<i>Platanus acerifolia</i>							
Pančevo	91.10 (1.16)	/	***	***	ns	***	83.73 (2.19)	/	ns	***	***	***	84.37 (3.66)	/	***	***	ns	ns
Smederevo	78.97 (1.80)	***	/	***	***	***	77.79 (1.44)	ns	/	***	***	ns	75.08 (3.09)	***	/	***	***	***
Obrenovac	100.23 (1.16)	***	***	/	***	***	134.10 (2.12)	***	***	/	***	***	94.64 (3.23)	***	***	/	ns	***
Beograd	88.64 (0.82)	ns	***	***	/	***	54.77 (3.18)	***	***	***	/	***	90.30 (0.32)	ns	***	ns	/	ns
Kontrola	64.57 (4.24)	***	***	***	***	/	73.94 (1.81)	***	ns	***	***	/	86.16 (1.37)	ns	***	***	ns	/

Tabela 2 (nastavak). Sadržaj Mn, Ni, Pb, Sr i Zn u zemljištu ispod ispitivanih vrsta u Pančevu (P), Smederevu (S), Obrenovcu (O), Beogradu (B) i na kontrolnom staništu (K) (ANOVA, n=5, *p<0.05, **p<0.001, ***p<0.001, ns – nema značajnih razlika)

Mn (mg/kg)	<i>Pinus nigra</i>					<i>Aesculus hippocastanum</i>					<i>Platanus acerifolia</i>							
	M (SD)	P	S	O	B	K	M (SD)	P	S	O	B	K	M (SD)	P	S	O	B	K
Pančevo	676.38 (4.79)	/	***	ns	***	***	622.48 (2.40)	/	***	***	***	***	539.20 (2.88)	/	***	***	***	***
Smederevo	595.61 (9.57)	***	/	***	***	ns	600.10 (9.26)	***	/	***	***	***	451.87 (1.93)	***	/	***	***	ns
Obrenovac	691.87 (11.04)	ns	***	/	***	***	773.61 (0.98)	***	***	/	***	***	606.29 (11.10)	***	***	/	***	***
Beograd	523.94 (18.75)	***	***	***	/	***	365.45 (1.34)	***	***	***	/	***	680.53 (1.69)	***	***	***	/	***
Kontrola	593.11 (7.81)	***	ns	***	***	/	441.44 (5.28)	***	***	***	***	/	464.32 (4.89)	***	ns	***	***	/
Ni (mg/kg)	<i>Pinus nigra</i>					<i>Aesculus hippocastanum</i>					<i>Platanus acerifolia</i>							
Pančevo	65.05 (1.55)	/	***	ns	***	***	67.55 (1.28)	/	***	***	***	ns	21.92 (0.37)	/	***	***	**	ns
Smederevo	128.69 (1.09)	***	/	***	***	***	122.27 (3.74)	***	/	***	***	***	103.81 (5.55)	***	/	***	***	***
Obrenovac	63.78 (1.28)	ns	***	/	***	***	100.99 (2.31)	***	***	/	***	***	81.82 (2.98)	***	***	/	***	***
Beograd	35.19 (0.96)	***	***	***	/	ns	27.40 (1.56)	***	***	***	/	***	29.59 (0.94)	**	***	***	/	ns
Kontrola	40.03 (1.80)	***	***	***	ns	/	66.78 (3.49)	ns	***	***	***	/	25.03 (0.93)	ns	***	***	ns	/
Pb (mg/kg)	<i>Pinus nigra</i>					<i>Aesculus hippocastanum</i>					<i>Platanus acerifolia</i>							
Pančevo	72.70 (0.50)	/	***	***	ns	ns	66.28 (1.20)	/	***	***	***	***	62.67 (1.63)	/	ns	ns	***	**
Smederevo	113.63 (1.41)	***	/	***	***	***	89.62 (3.30)	***	/	**	***	ns	65.25 (3.65)	ns	/	ns	***	***
Obrenovac	56.38 (1.96)	***	***	/	***	***	78.95 (2.49)	***	**	/	***	ns	64.70 (2.66)	ns	ns	/	***	***
Beograd	75.45 (2.98)	ns	***	***	/	ns	289.04 (7.05)	***	***	***	/	***	83.67 (3.10)	***	***	***	/	***
Kontrola	76.95 (4.00)	ns	***	***	ns	/	85.15 (4.29)	***	ns	ns	***	/	53.84 (1.36)	**	***	***	***	/
Sr (mg/kg)	<i>Pinus nigra</i>					<i>Aesculus hippocastanum</i>					<i>Platanus acerifolia</i>							
Pančevo	27.59 (1.54)	/	***	***	***	***	30.17 (1.23)	/	***	***	***	ns	30.93 (1.54)	/	***	***	ns	***
Smederevo	51.48 (1.83)	***	/	***	***	***	40.24 (3.13)	***	/	ns	***	***	66.07 (2.82)	***	/	***	***	*
Obrenovac	41.62 (1.34)	***	***	/	***	*	38.80 (1.79)	***	ns	/	***	***	74.65 (4.89)	***	***	/	***	***
Beograd	76.34 (1.79)	***	***	***	/	***	81.26 (3.66)	***	***	***	/	***	32.63 (1.94)	ns	***	***	/	***
Kontrola	35.59 (1.68)	***	***	*	***	/	30.40 (0.78)	ns	***	***	***	/	59.64 (0.34)	***	*	***	***	/
Zn (mg/kg)	<i>Pinus nigra</i>					<i>Aesculus hippocastanum</i>					<i>Platanus acerifolia</i>							
Pančevo	54.73 (0.29)	/	***	***	***	***	61.93 (2.89)	/	***	ns	***	ns	55.31 (1.70)	/	***	ns	***	***
Smederevo	151.26 (1.62)	***	/	***	***	***	152.07 (3.46)	***	/	***	***	***	185.07 (1.97)	***	/	***	***	***
Obrenovac	65.71 (0.36)	***	***	/	ns	ns	60.31 (0.44)	ns	***	/	***	*	59.71 (4.34)	ns	***	/	**	***
Beograd	72.41 (1.45)	***	***	ns	/	ns	188.43 (6.77)	***	***	***	/	***	68.05 (2.24)	***	***	**	/	***
Kontrola	65.99 (1.09)	***	***	ns	ns	/	68.70 (2.47)	ns	***	*	***	/	44.26 (0.94)	***	***	***	***	/

Prisustvo As je detektovano samo u pojedinim uzorcima zemljišta (Tabela 3) i shodno tome nije bilo predmet statističke analize. Izmerene koncentracije su prikazane u formi srednje vrednosti i standardne devijacije.

Tabela 3. Sadržaj As u zemljištu na ispitivanim lokalitetima

Lokalitet	As (mg/kg)		
	<i>P. nigra</i>	<i>A. hippocastanum</i>	<i>P. acerifolia</i>
Pančevo	/	/	/
Smederevo	12.23 (0.19)	10.82 (0.81)	10.05 (0.61)
Obrenovac	/	9.56 (0.38)	9.89 (0.45)
Beograd	/	11.15 (0.49)	/
Kontrola	/	/	/

5.1.4 Odnos između hemijskih elemenata u urbanim zemljištima

U cilju određivanja odnosa između koncentracija hemijskih elemenata odnosno sličnosti i razlika u poreklu tih elemenata u uzorcima zemljišta sa ispitivanih lokaliteta, određeni su Pirsonovi korelacioni koeficijenti. Rezultati analize su prikazani u Tabeli 4.

Statistički značajne pozitivne korelacije, koje potencijalno ukazuju na zajedničko poreklo elemenata u zemljištu u parku „Narodna bašta” u Pančevu su nađene za sledeće parove: Al- Sr, Zn; B-Sr, Cr- Fe, Mn, Ni; Cu- Fe, Li, Mn, Ni, Pb; Fe- Mn, Ni, Pb; Li- Mn, Pb; Mn- Ni, Pb i Ni-Pb, dok su negativne utvrđene za parove: Al-Cu, B-Cu, Cr-Fe, Li-Al, Mn-B, Ni-B, Zn-Li, ali i za Sr- Fe, Li, Mn, Ni, Pb. U uzorcima zemljišta iz „Parka Narodnih Heroja“ u Smederevu je utvrđena značajna pozitivna korelacija za sledeće parove elemenata: Al- B, Cr, Cu, Fe, Pb; B- Cr, Cu, Fe, Li, Ni, Pb; Cr- Fe, Li, Mn, Ni, Pb; Cu- Mn, Zn; Fe- Li, Mn, Ni, Pb; Li- Mn, Ni, Pb; Mn-Pb, Ni-Pb, kao i Sr- Zn. Nasuprot tome, negativne korelacije koje ukazuju na različito poreklo sledećih elemenata u odnosu na druge su utvrđene za parove: Sr- Mn, Ni; i Zn- Cu, Fe, Mn, Ni, Pb. U gradskom parku „Trg dr Zorana Đinđića“ u Obrenovcu su utvrđene značajne pozitivne korelacije za Al- B, Fe, Li, Mn, Ni, Pb; B- Cr, Fe, Li, Ni, Pb; Cr- Fe, Li, Mn, Ni, Pb; Cu- Mn, Zn; Fe- Li, Mn, Ni, Pb; Li- Mn, Ni, Pb; Mn-Pb; i Ni-Pb, a značajne negativne korelacije u Obrenovcu za Sr- Cu, Fe, Li, Mn, kao i za par Zn-Ni. Kada je u pitanju park „Pionir” u Beogradu, značajne pozitivne korelacije u uzorcima zemljišta iz Beograda su zabeležene za sledeće parove: Al- B, Cr, Fe, Li, Mn; B- Cr, Fe, Li, Mn; Cr- Fe, Li, Mn; Cu- Pb, Zn; Fe- Li, Mn; Li- Mn, Ni, kao i Pb-Zn i Sr-Zn. U isto vreme, ovo

zemljište se značajno razlikuje u odnosu na gore pomenuta tri po značajnoj negativnoj korelaciji za sledeće parove elemenata: Pb- Al, B, Cr, Fe, Li, Mn, Ni; Sr- Al, B, Cr, Fe, Li, Mn; i Zn- Al, B, Cr, Fe, Li, Mn, Ni; ali i za Cu- Al, B, Fe, Li, Mn, Ni. Na kontrolnom staništu, značajne pozitivne korelacije su nađene za Al- Fe, Ni, Pb, Zn; B- Cu, Mn; Cr- Fe, Ni, Pb, Zn; Cu-Fe, Fe- Ni, Pb, Zn; Ni- Pb, Zn; Pb-Zn, a značajna negativna korelacija koja sugeriše različito poreklo ovih elemenata je definisana za Li- B, Cu, Zn; i Sr- Al, Fe, Zn.

Tabela 4. Odnos između hemijskih elemenata u uzorcima zemljišta sa istraživanih lokaliteta (Pearsonovi faktori korelacije; nivo značajnosti: * $p < 0.05$; ** $p < 0.01$)

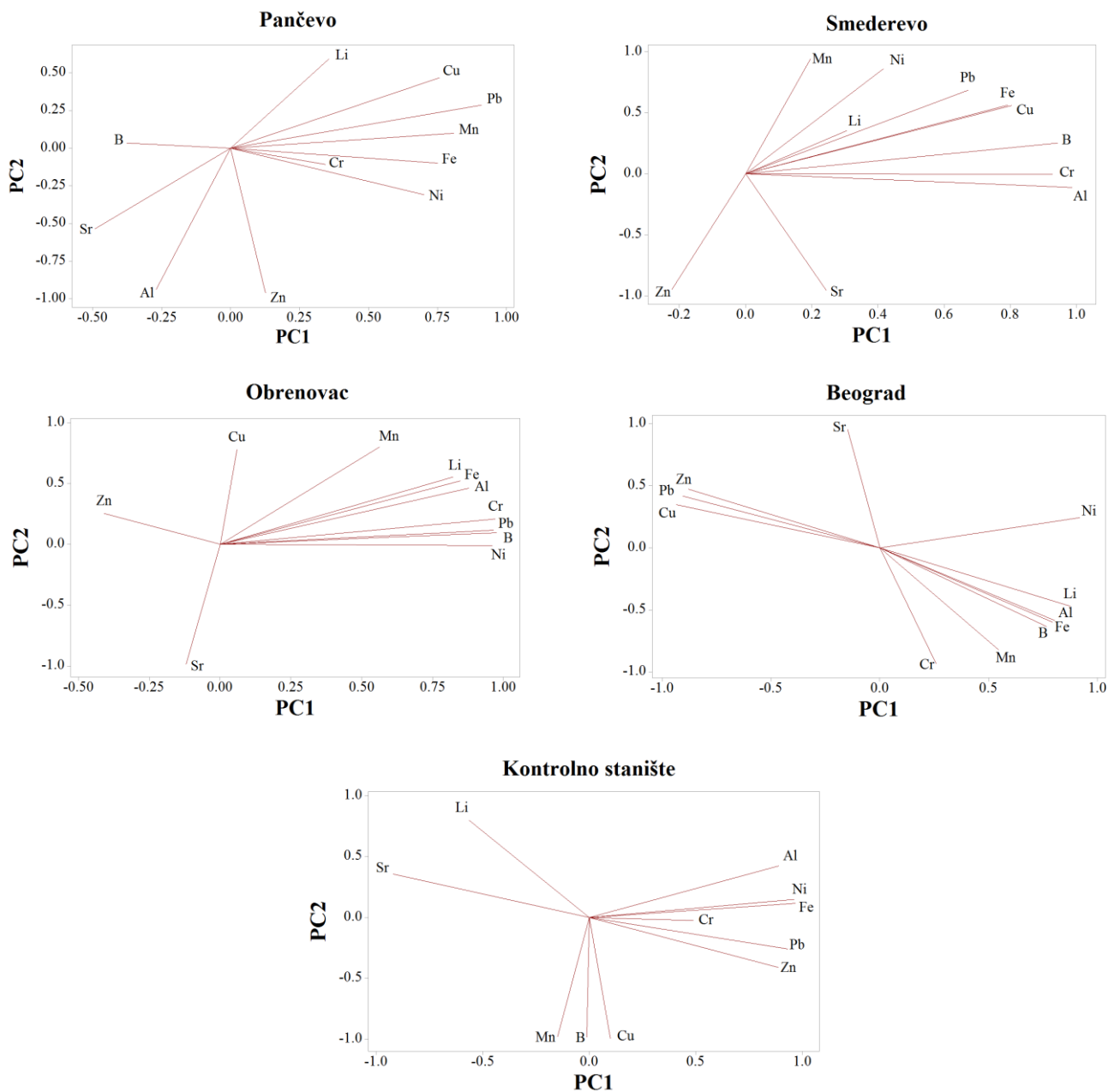
		B	Cr	Cu	Fe	Li	Mn	Ni	Pb	Sr	Zn
PANČEVO	Al	0.062	0.068	-0.671*	-0.092	-0.666*	-0.290	0.121	-0.504	0.652*	0.844**
	B		-0.571	-0.644*	-0.856**	-0.492	-0.790**	-0.829**	-0.545	0.668*	-0.134
	Cr			0.315	0.708**	0.264	0.681*	0.722**	0.540	-0.088	0.236
	Cu				0.756**	0.785**	0.865**	0.611*	0.900**	-0.888**	-0.337
	Fe					0.471	0.964**	0.976**	0.829**	-0.608*	0.241
	Li						0.628*	0.319	0.618*	-0.712**	-0.581*
	Mn							0.899**	0.925**	-0.676*	0.035
	Ni								0.722**	-0.455	0.437
	Pb									-0.652*	-0.135
	Sr										0.448
SMEDEREVO	Al	0.905**	0.901**	0.740**	0.730**	0.292	0.084	0.314	0.592*	0.337	-0.127
	B		0.902**	0.933**	0.923**	0.519	0.459	0.639*	0.853**	-0.022	-0.485
	Cr			0.788**	0.777**	0.516	0.267	0.429	0.695*	0.204	-0.217
	Cu				0.990**	0.611*	0.728**	0.853**	0.975**	-0.362	-0.742**
	Fe					0.634*	0.736**	0.820**	0.978**	-0.378	-0.758**
	Li						0.610*	0.534	0.685*	-0.377	-0.562
	Mn							0.924**	0.849**	-0.883**	-0.972**
	Ni								0.902**	-0.723**	-0.909**
	Pb									-0.527	-0.850**
	Sr										0.879**
OBRENOVAC	Al	0.924**	0.955**	0.342	0.995**	0.986**	0.851**	0.865**	0.913**	-0.552	-0.328
	B		0.976**	0.013	0.892**	0.861**	0.599	0.972**	0.984**	-0.206	-0.553
	Cr			0.180	0.935**	0.909**	0.700*	0.955**	0.981**	-0.309	-0.420
	Cu				0.418	0.455	0.756**	-0.094	-0.048	-0.837**	0.694*
	Fe					0.989**	0.890**	0.827**	0.879**	-0.610*	-0.258
	Li						0.904**	0.784**	0.856**	-0.648*	-0.204
	Mn							0.501	0.588*	-0.873**	0.129
	Ni								0.959**	-0.076	-0.604*
	Pb									-0.197	-0.511
	Sr										-0.305
BEOGRAD	Al	0.990**	0.734**	-0.958**	0.998**	0.987**	0.935**	0.565	-0.979**	-0.702*	-0.989**
	B		0.784**	-0.934**	0.989**	0.972**	0.948**	0.543	-0.957**	-0.721**	-0.976**
	Cr			-0.570	0.748**	0.648*	0.879**	0.065	-0.609*	-0.870**	-0.653*
	Cu				-0.953**	-0.980**	-0.796**	-0.759**	0.994**	0.472	0.986**
	Fe					0.981**	0.938**	0.556	-0.973**	-0.708**	-0.984**
	Li						0.878**	0.666*	-0.991**	-0.600*	-0.997**
	Mn							0.272	-0.845**	-0.896**	-0.877**
	Ni								-0.705*	0.172	-0.675*
	Pb									0.547	0.995**
	Sr										0.594*
KONTROLA	Al	-0.404	0.553	-0.340	0.946**	-0.143	-0.558	0.952**	0.736**	-0.686*	0.634*
	B		0.134	0.968**	-0.094	-0.759**	0.959**	-0.123	0.266	-0.348	0.418
	Cr			0.044	0.649*	-0.171	-0.049	0.660*	0.628*	-0.551	0.593*
	Cu				-0.026	-0.858**	0.961**	-0.059	0.342	-0.446	0.493
	Fe					-0.429	-0.266	0.993**	0.900**	-0.878**	0.840**
	Li						-0.693*	-0.391	-0.696*	0.799**	-0.810**
	Mn							-0.289	0.129	-0.209	0.275
	Ni								0.900**	-0.855**	0.833**
	Pb									-0.960**	0.968**
	Sr										-0.980**

5.1.5 Poreklo hemijskih elemenata u urbanim zemljištima

Da bi se utvrdili potencijalni izvori hemijskih elemenata u uzorcima zemljišta sa ispitivanih lokaliteta urađena je analiza glavnih komponenti (PCA). U razmatranje su uzete samo one komponente sa svojstvenim vrednostima (engl. Eigenvalue) koje su ≥ 1 . Urađena je Varimax rotacija faktora sa Kajzerovom normalizacijom, a rezultati analize su prikazani na Slici 7 i u Tabeli 5.

Analiza uzoraka zemljišta iz Pančeva je pokazala da četiri glavne komponente zajedno opisuju 95.5 % varijabilnosti, od kojih prva komponenta (PC1) objašnjava 34.8 % varijabilnosti i visoko je korelisana sa sledećim elementima: Cu, Fe, Mn, Ni i Pb. Druga glavna komponenta takođe ima visoku procentualnu zastupljenost varijabilnosti (PC2- 26.1%), značajno je pozitivno korelisana sa Li, a značajno negativno sa Al i Zn. Treća glavna komponenta (PC3) koja opisuje 19.3% varijabilnosti je visoko negativno korelisana sa B i Sr, dok četvrta (PC4) opisuje 13.3 % ukupne varijabilnosti uzoraka i ima izrazito pozitivnu korelaciju sa Cr. Za uzorke zemljišta iz Smedereva je utvrđeno postojanje 3 glavne komponente koje zajedno opisuju 97.9 % varijabilnosti. PC1 koja određuje 44.2 % varijabilnosti je značajno pozitivno korelisana sa Al, B, Cr, Cu i Fe. PC2 objašnjava 43.2 % varijabilnosti i značajno je pozitivno korelisana sa Mn, Ni, i Pb, ali i značajno negativno sa Sr i Zn. PC3 koja opisuje 10.5 % varijabilnosti je značajno negativno korelisana sa Li. PC2 i PC3 su podjednako dobro korelisane sa Pb. U Obrenovcu su se takođe izdvojile 3 glavne komponente koje ukupno opisuju 98.9 % varijabilnosti od kojih PC1 opisuje čak 58.3 % i visoko je pozitivno korelisana sa Al, B, Cr, Fe, Li, Ni i Pb. PC2 (28.6 %) je značajno pozitivno korelisana sa Cu i Mn, a negativno sa Sr. Treća glavna komponenta (PC3) je visoko negativno korelisana sa Zn, ali i podjednako negativno sa Cu. Za razliku od svih drugih ispitivanih lokaliteta, u Beogradu su se izdvojile samo dve glavne komponente koje međusobno opisuju 97.1 % varijabilnosti. Prva glavna komponenta (PC1- 57.5 %) je značajno pozitivno korelisana sa Al, B, Fe, Li i Ni i visoko negativno sa Cu, Pb i Zn. PC2 koja objašnjava 39.6 % varijabilnosti je visoko pozitivno korelisana sa Sr, ali i značajno negativno sa Cr i Mn. U uzorcima zemljišta sa kontrolnog staništa su se izdvojile 3 glavne komponente koje zajedno opisuju 98.9 % varijabilnosti. PC1- 52.2 % je značajno pozitivno korelisana sa Al, Fe, Ni, Pb i Zn, a značajno negativno sa Sr. Druga glavna komponenta koja

objašnjava 37.6 % varijabilnosti je visoko pozitivno korelisana sa Li i značajno negativno sa B, Cu i Mn. PC3 opisuje samo 9 % varijabilnosti, ali je značajno pozitivno korelisana sa Cr.



Slika 7. Analiza glavnih komponenti (PCA) koja ukazuje na zajedničko poreklo ispitivanih elemenata

Tabela 5. Analiza porekla hemijskih elemenata u urbanim zemljištima (Matrica glavnih komponenti sa Varimax rotacijom i vrednostima faktorskih opterećenja)

	Pančevo				Smederevo			Obrenovac			Beograd		Kontrola		
	PC 1	PC 2	PC 3	PC 4	PC 1	PC 2	PC 3	PC 1	PC 2	PC 3	PC 1	PC 2	PC 1	PC 2	PC 3
Al	-0.269	-0.939	-0.005	0.066	0.986	-0.112	-0.037	0.878	0.463	0.102	0.804	-0.585	0.889	0.425	0.150
B	-0.376	0.033	-0.862	-0.304	0.943	0.250	-0.161	0.965	0.116	0.215	0.765	-0.633	-0.011	-0.985	0.132
Cr	0.344	-0.109	0.177	0.914	0.928	-0.005	-0.263	0.972	0.209	0.083	0.259	-0.935	0.487	-0.025	0.873
Cu	0.757	0.468	0.394	0.029	0.804	0.559	-0.189	0.059	0.780	-0.600	-0.934	0.348	0.099	-0.993	-0.033
Fe	0.751	-0.099	0.519	0.375	0.793	0.563	-0.219	0.848	0.522	0.052	0.793	-0.599	0.967	0.116	0.208
Li	0.356	0.591	0.287	0.132	0.305	0.355	-0.884	0.821	0.554	0.015	0.875	-0.472	-0.563	0.799	0.140
Mn	0.809	0.098	0.412	0.363	0.195	0.943	-0.244	0.562	0.800	-0.175	0.546	-0.823	-0.149	-0.981	-0.001
Ni	0.702	-0.309	0.498	0.388	0.416	0.861	-0.112	0.961	-0.009	0.238	0.917	0.243	0.962	0.147	0.223
Pb	0.909	0.285	0.143	0.250	0.673	0.688	-0.267	0.975	0.096	0.154	-0.905	0.415	0.932	-0.259	0.191
Sr	-0.491	-0.538	-0.633	0.150	0.243	-0.958	0.128	-0.120	-0.984	0.115	-0.147	0.953	-0.921	0.356	-0.108
Zn	0.126	-0.962	0.051	0.094	-0.222	-0.948	0.180	-0.409	0.255	-0.875	-0.880	0.470	0.887	-0.413	0.172
<i>Eigen-vrednost</i>	3.824	2.872	2.122	1.467	4.862	4.751	1.153	6.416	3.143	1.316	6.320	4.359	5.741	4.138	0.990
% varijabilnosti	34.8	26.1	19.3	13.3	44.2	43.2	10.5	58.3	28.6	12.0	57.5	39.6	52.2	37.6	9.0

5.1.6 Mobilnost i biodostupnost hemijskih elemenata u urbanim zemljištima

Na slikama 8, 9 i 10 su prikazani rezultati procentualne zastupljenosti hemijskih elemenata po fazama koji su dobijeni primenom modifikovane BCR sekvencijalne ekstrakcije zemljišta, u cilju dobijanja informacija o njihovoj mobilnosti i biodostupnosti. U prvom ekstrakcionom koraku (kiselo-rastvorna/izmenjiva faza) oslobađaju se izmenjivi i u kiselini rastvorni elementi i smatra se da su oni dostupni biljkama. U drugom koraku (reducibilna faza) se oslobađaju elementi vezani za okside Fe i Mn, dok se u trećem koraku oslobađaju elementi vezani za organsku materiju i sulfide (oksidabilna faza). Četvrti korak čine elementi vezani za silikate i kristalnu strukturu minerala (rezidualna faza), i nedostupni su biljkama.

Rezultati sekvencijalne ekstrakcije su pokazali da je Al (77-87 %) najvećim udelom zastupljen u rezidualnoj frakciji, a ostatak je bio raspoređen između reducibilne (6.4-14.2 %) i oksidabile (5.7-8.2 %) faze. Zanimljivo mali procenat je ekstrahovan u prvoj fazi 0.1-0.3 %.

Frakcioni profil B je pokazao da je on najvećim delom vezan za rezidualnu fazu (49.5-70.8 %). Značaj procentualni udeo B je ekstrahovan i u kiselo-rastvornoj/izmenjivoj fazi (11.5-19.4 %), ali u reducibilnoj fazi (9.4-20.6 %), dok je najniži udeo B prisutan u oksidabilnoj frakciji (6.4-10.8 %).

Hrom je takođe najvećim delom sastavni deo rezidualne frakcije (65-85 %). Ostatak je oslobođen u oksidabilnoj (12.3-21.3 %) i reducibilnoj frakciji (1.9-16.6 %), dok je prisutnost Cr u prvoj frakciji utvrđena samo u zemljištu ispod *P. nigra* u Beogradu.

Posmatrajući frakcioni profil Cu, uočljivo je da on najzastupljeniji u rezidualnoj fazi, odnosno vezan za kristalnu rešetku minerala (40.5-72.9 %), osim u zemljištu ispod *A. hippocastanum* u Beogradu gde je utvrđena veća količina u oksidabilnoj fazi (42.1 %). Sledeća po zastupljenosti frakcija je oksidabilna, gde je Cu vezan za organsku materiju i sulfide (11-42.1 %). Neznatno manja zastupljenost Cu je utvrđena u reducibilnoj fazi (6.6-31.5 %), a njegova prisutnost u kiselo-rastvornoj/izmenjivoj fazi je iznosila 2.4-7.3 %.

Gvožđe je najvećim delom ekstrahovano u rezidualnoj frakciji (82-94 %), dok je ostatak ravnomerno raspoređen između reducibilne (2.4-9.8 %) i oksidabilne (3.1-7.1

%) frakcije. Njegov udeo u kiselu-rastvornoj/izmenjivoj fazi je bio zanemarljiv 0.002-0.4 %.

Slično kao Al i Fe, i Li je čvrsto vezan za kristalnu strukturu minerala (78-91 %). Ostatak je ekstrahovan u reducibilnoj (2.8-11.9 %), oksidabilnoj (4-10.4 %) i kiselu-rastvornoj/izmenjivoj fazi (0-3.5 %).

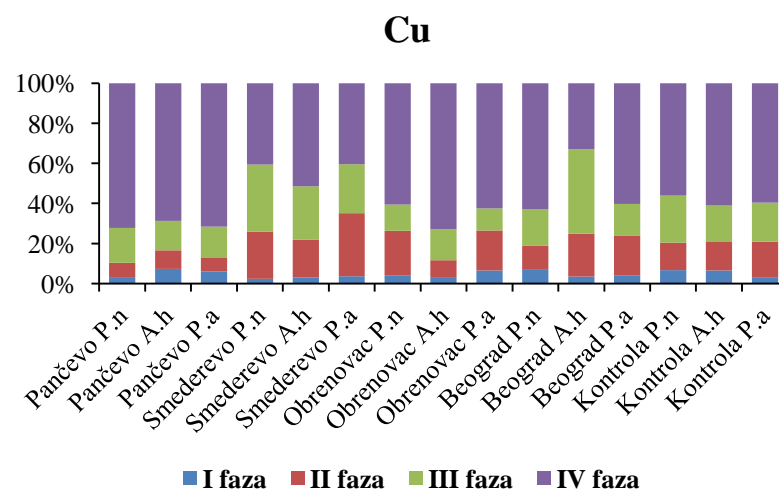
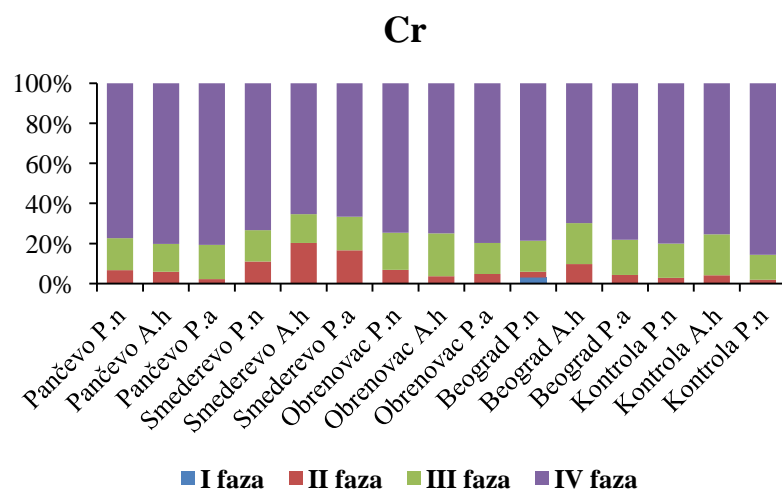
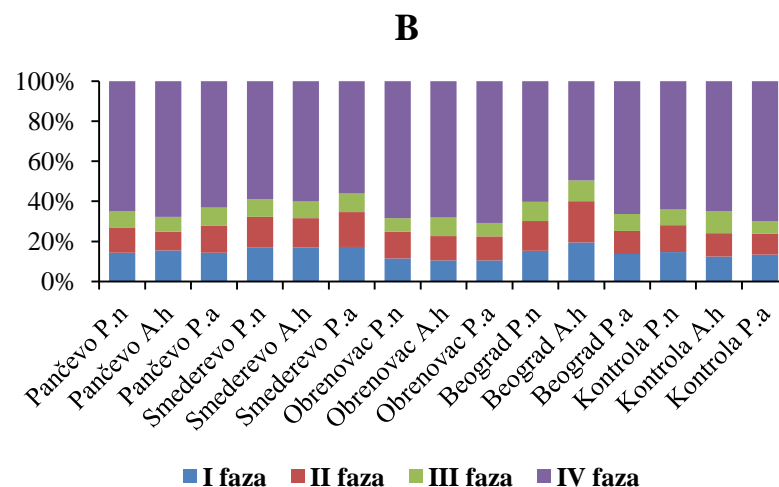
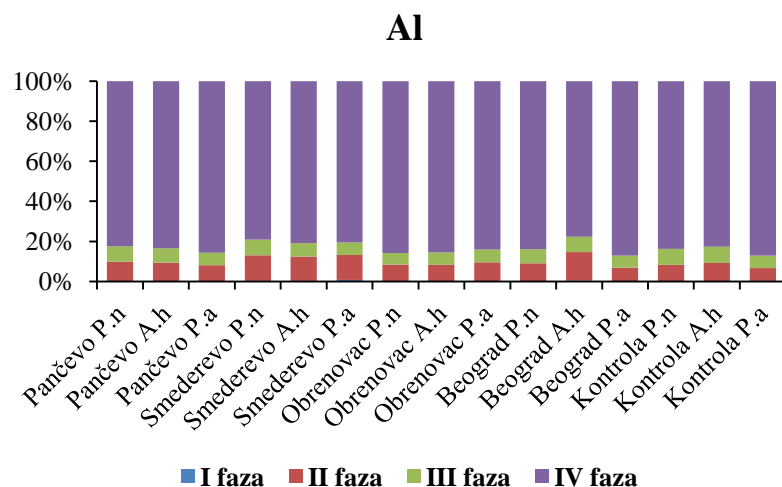
Različit frakcioni profil je utvrđen za Mn gde je najveći udeo pripadao reducibilnoj (34.9-69.1 %), ali i kiselu-rastvornoj/izmenjivoj frakciji (11.1-35.9 %). U rezidualnoj fazi je ekstrahovano svega 15-26 %, a u oksidabilnoj (3.8-10.3 %).

Najveći procenat Ni u uzorcima zemljišta iz Pančeva i Smedereva je izdvojen u reducibilnoj fazi (21.9-54.1 %), a ostatak je raspoređen između rezidualne (29.3-54.4 %), oksidabilne (9.3-18.7 %) i kiselu-rastvorne/izmenjive faze (3.5-12.8 %). Na ostalim lokalitetima je najveći udeo Ni vezan za kristalnu strukturu minerala (45.7-63.5 %), a preostali procentualni udeo je ravnomerno raspoređen između prve tri faze.

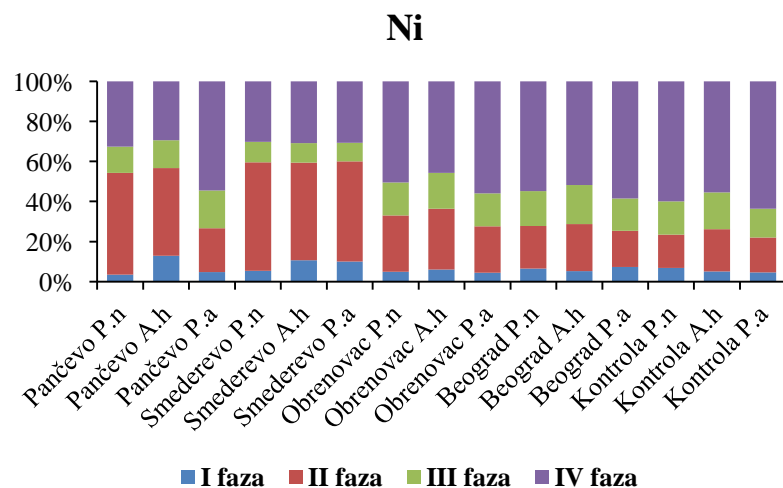
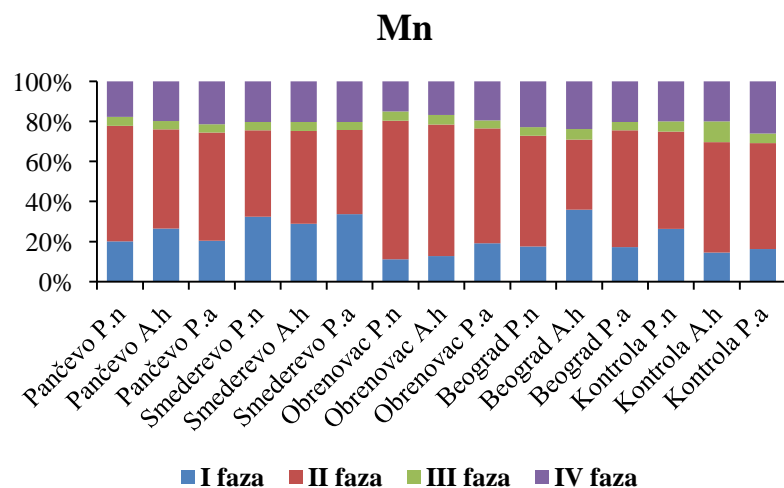
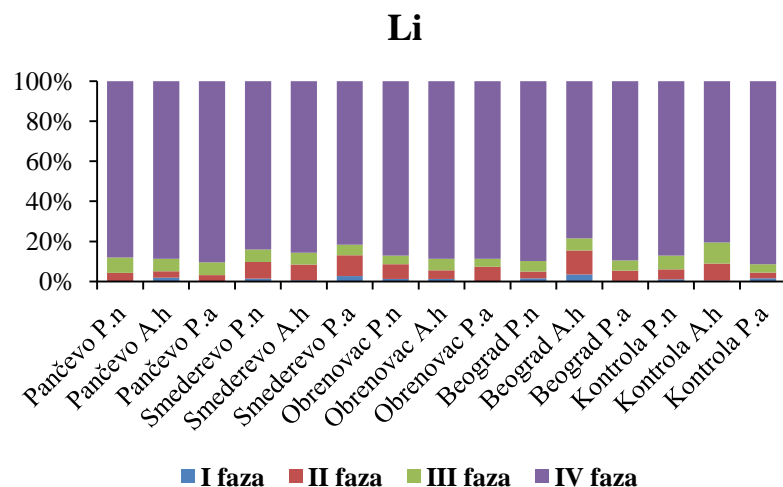
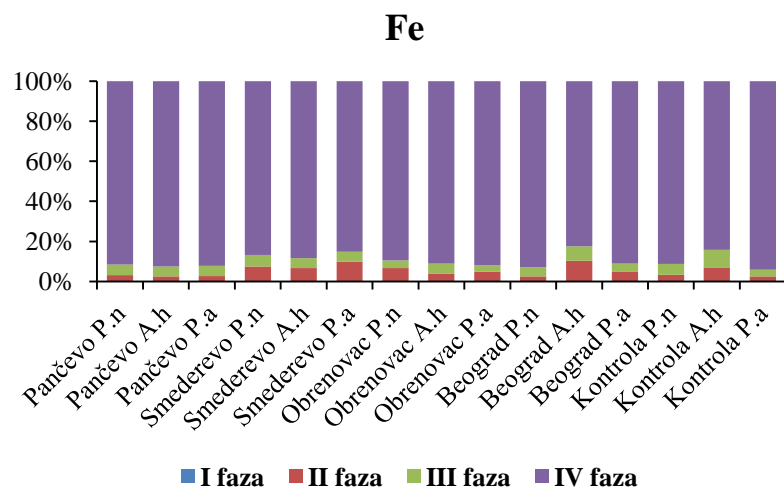
Frakcioni profil Pb je bio sličan frakcionom profilu Mn. Najveću deo je vezan za okside gvožđa i mangana (29.9-81 %), dok je ostatak bio raspoređen između rezidualne (5.8-41.2 %), oksidabilne (9.2-18.2 %) i kiselu-rastvorne/izmenjive (0-19.8 %) faze.

Frakcioni profil Sr se apsolutno razlikovao od svih ostalih elemenata pošto je njegov najveći deo asociran sa kiselu-rastvornom/izmenjivom frakcijom (34.9-83.1 %), odnosno dostupan je biljkama. Druga najzastupljenija faza je reducibilna (9.3-39.6 %), potom rezidualna (6.4-33.5 %), a najmanji udeo je utvrđen u oksidativnoj frakciji (0.9-3.7 %).

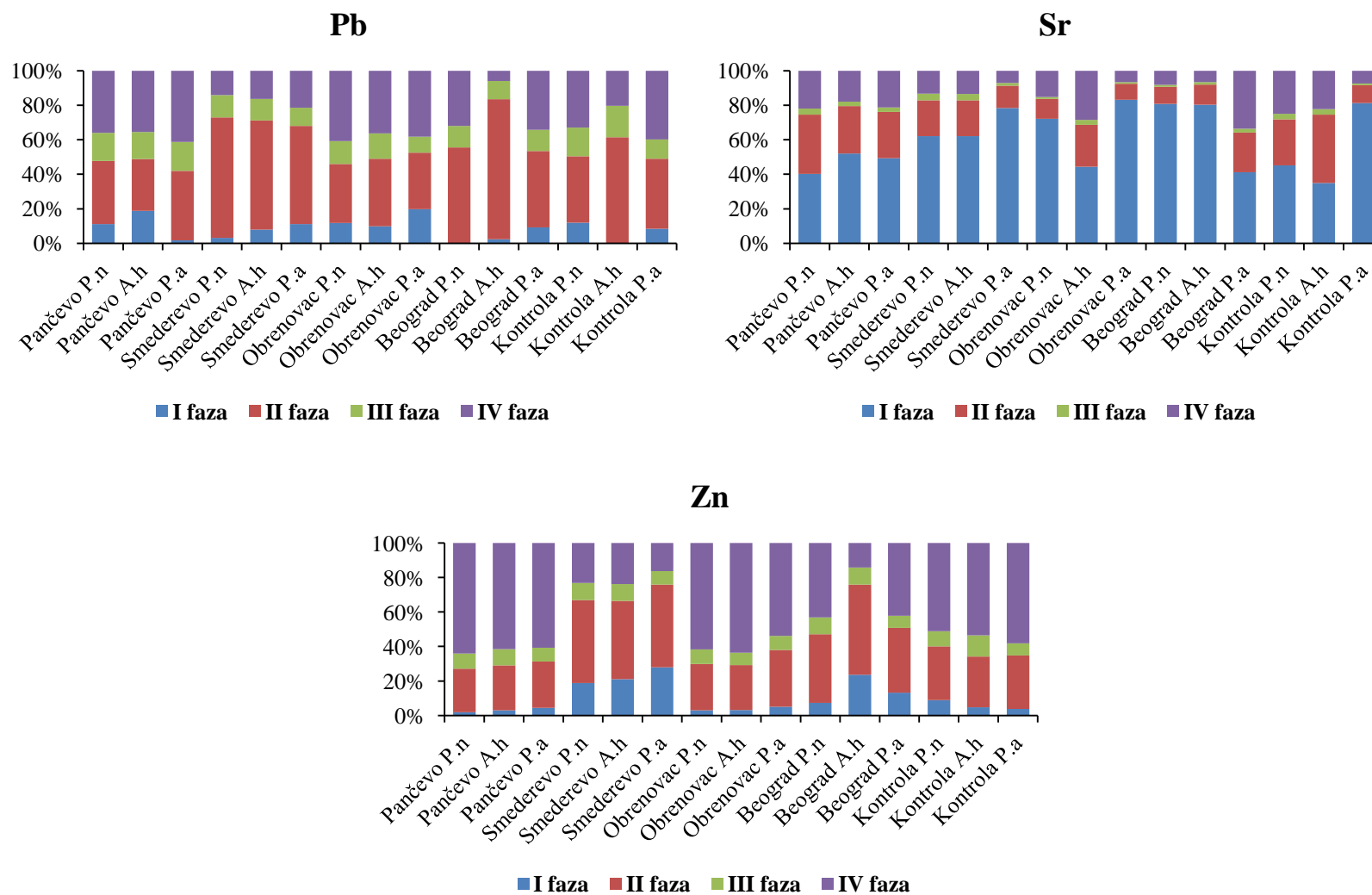
U uzorcima zemljišta iz Smedereva i Beograda najveća zastupljenost Zn je utvrđena u reducibilnoj fazi (45.3-52 %). U Smederevu je ostatak Zn bio raspoređen između kiselu-rastvorne/izmenjive (18.8-27.9 %) i rezidualne faze (16.3-23.7 %), a u Beogradu između rezidualne (14.16-43.18 %), odnosno kiselu-rastvorne/izmenjive faze (7.3-23.5 %). Na ostalim lokalitetima je najveća koncentracija Zn ustanovljena u rezidualnoj fazi (51.1-64 %), dok je najmanji udeo Zn bio asociran sa organskom materijom i sulfidima (7-12.2 %).



Slika 8. Raspodela Al, B, Cr i Cu po fazama sekvencijalne ekstrakcije u uzorcima zemljišta iz Pančeva, Smedereva, Obrenovca, Beograda i kontrolnog staništa (P.n- *Pinus nigra*; A.e- *Aesculus hippocastanum*; P.a- *Platanus acerifolia*)



Slika 9. Raspodela Fe, Li, Mn i Ni po fazama sekvencijalne ekstrakcije u uzorcima zemljišta iz Pančeva, Smedereva, Obrenovca, Beograda i kontrolnog staništa (P.n- *Pinus nigra*; A.e- *Aesculus hippocastanum*; P.a- *Platanus acerifolia*)



Slika 10. Raspodela Pb, Sr i Zn po fazama sekvencijalne ekstrakcije u uzorcima zemljišta iz Pančeva, Smedereva, Obrenovca, Beograda i kontrolnog staništa (P.n- *Pinus nigra*; A.e- *Aesculus hippocastanum*; P.a- *Platanus acerifolia*)

5.2 SADRŽAJ HEMIJSKIH ELEMENATA U KORI I LISTOVIMA DRVENASTIH VRSTA BILJAKA

5.2.1 Prostorna i vremenska distribucija sadržaja hemijskih elemenata u kori drvenastih vrsta biljaka

Analizirana je prostorna i vremenska distribucija sadržaja hemijskih elemenata (Al, As, B, Cd, Cr, Cu, Fe, Li, Mn, Ni, Pb, Se, Sr i Zn) u kori ispitivanih vrsta i rezultati su prikazani u Tabeli 5. Takođe su analizirane i razlike u koncentraciji elemenata između vrsta na svakom staništu po sezonskom preseku (Tabela 5). Arsen, Cd, Li i Se nisu detektovani ni u jednom uzorku kore, dok su koncentracije Cr, Ni i Pb detektovane u jednom broju uzoraka sa različitih lokaliteta u nekom od sezonskih preseka. Trofaktorska analiza varijansi (factorial ANOVA) je pokazala da sva tri faktora varijabilnosti i njihove kombinacije (lokalitet, vrsta i sezona) statistički značajno doprinose razlikama ($p < 0.001$) u sadržaju elemenata u kori ispitivanih vrsta, ali da najizraženiju ulogu ima faktor vrste. Izuzetak je sadržaj Zn na koji veći uticaj ima faktor lokaliteta (Tabela 5).

Tabela 5. Uticaj vrste, lokaliteta i sezone na razlike u sadržaju hemijskih elemenata u kori ispitivanih biljaka (p-stepen značajnosti: * $p < 0.05$, ** $p < 0.001$, *** $p < 0.001$, ns–nema značajnih razlika)

Hemijski element		Vrsta	Lokalitet	Sezona	Vrsta* Lokalitet	Vrsta* Sezona	Lokalitet* Sezona	Vrsta* Lokalitet* Sezona
Al	F	10259.6	4027.8	630.4	1516.9	705.7	351.5	393.3
	p	***	***	***	***	***	***	***
B	F	3216.7	1658.0	2350.2	358.0	189.9	60.3	50.4
	p	***	***	***	***	***	***	***
Cu	F	9213.3	6986.6	348.7	3889.7	520.0	652.5	410.6
	p	***	***	***	***	***	***	***
Fe	F	45918.3	33413.3	9160.4	9022.6	3986.1	2392.6	2099.1
	p	***	***	***	***	***	***	***
Mn	F	31906.6	9254.0	535.9	3355.8	466.9	743.9	402.7
	p	***	***	***	***	***	***	***
Sr	F	17237.2	14293.6	1114.6	3903.2	212.4	286.0	81.3
	p	***	***	***	***	***	***	***
Zn	F	3813.5	4728.6	505.9	1165.7	290.8	218.2	203.5
	p	***	***	***	***	***	***	***

Sadržaj Al u kori ispitivanih vrsta se kretao u veoma širokom opsegu, od minimalnih 49.05 mg/kg izmerenih u kori *P. acerifolia* iz Beograda u oktobru do maksimalnih 1404.66 mg/kg u kori *A. hippocastanum*, iz parka u Beogradu, takođe izmerenih u oktobru. U proseku, najniže vrednosti Al su izmerene u kori *P. nigra* i *P. acerifolia* sa kontrolnog staništa i *P. acerifolia* iz parka u Obrenovcu, dok su prosečno najviše vrednosti izmerene u uzorcima kore *A. hippocastanum* iz parkova u Beogradu i Obrenovcu i kore *P. acerifolia* iz Beograda (Tabela 6). U kori *P. nigra* su tokom cele sezone na svim lokalitetima detektovane značajne razlike ($p < 0.001$) u sadržaju Al u odnosu na kontrolno stanište. Kod *A. hippocastanum*, slične koncentracije Al su izmerene u uzorcima kore iz parka u Pančevu u poređenju sa kontrolnim staništem u junu i avgustu, dok su na svim ostalim lokalitetima, tokom cele sezone postojale značajne razlike ($p < 0.001$). Identična situacija je i kod *P. acerifolia*, slične vrednosti su izmerene u uzorcima kore iz Smedereva u junu i avgustu (ns), tj. Pančeva u oktobru u odnosu na kontrolno stanište, dok su na svim ostalim lokalitetima tokom cele sezone utvrđene značajne razlike ($p < 0.001$) (Tabela 6). Upoređujući sadržaj Al u kori *P. nigra*, *A. hippocastanum* i *P. acerifolia* po sezonskim presecima, uočljivo je da najveću akumulaciju pokazuje *A. hippocastanum*. Izuzetak su uzorci kore *P. nigra* iz parka u Pančevu u avgustu, i uzorci kore *P. acerifolia* sa istog lokaliteta u oktobru (Tabela 7).

Sadržaj B u kori ispitivanih vrsta se kretao u opsegu od minimalnih 3.64 mg/kg izmerenih u kori *P. nigra* sa kontrolnog staništa u junu, do 34.89 mg/kg u kori *A. hippocastanum* u parku u Smederevu u oktobru (Tabela 8). Uočena je jasna sezonska pravilnost koja se ogleda u povećanju sadržaja B u kori kod svih ispitivanih vrsta, od juna do oktobra, pri čemu su u proseku najniže vrednosti tokom sezone izmere u kori *P. nigra*, dok se iz postojećih rezultata ne može utvrditi koja od druge dve vrste bolje akumulira B (Tabela 9). Kada je reč o lokalitetima, najviše vrednosti su izmerene u uzorcima kore ispitivanih vrsta u parkovima u Beogradu i Smederevu. Nanjiže koncentracije B u kori *P. nigra* i *P. acerifolia* su izmerene na kontrolnom staništu, a u kori *A. hippocastanum* u Pančevu (Tabela 8). U kori *P. nigra* sa svih lokaliteta tokom cele sezone su utvrđene značajne razlike ($p < 0.001$) u sadržaju B u odnosu na istu sa kontrolnog staništa, sa izuzetkom uzoraka kore iz Pančeva u junu (ns). Slično i kora *A. hippocastanum* iz Pančeva u avgustu, odnosno kora *P. acerifolia* iz Obrenovca u avgustu nisu imale razlike (ns) u sadržaju B u poređenju sa uzorcima iste vrste sa

kontrolnog staništa (ns). Na svim ostalim lokalitetima su utvrđene razlike ($p < 0.001$; $p < 0.05$) (Tabela 8).

Sadržaj Cu u kori drvenastih vrsta se kretao u širokom opsegu, od samo 1.06 mg/kg izmerenih u kori *P. acerifolia* u Smederevu u avgustu, do 63.97 mg/kg u kori *A. hippocastanum*, iz parka u Beogradu, u oktobru (Tabela 10). U kori svih vrsta, osim na lokalitetu u Beogradu kod *A. hippocastanum* i na kontrolnom staništu kod *P. acerifolia*, koncentracija Cu je bila relativno ujednačena tokom cele sezone. Sadržaj Cu u kori *P. nigra* nije značajnije varirao na ispitivanim lokalitetima (3.30-11.27 mg/kg). Najizraženije sezonsko variranje u sadržaju Cu je izmereno u kori *A. hippocastanum* (5.60-63.97 mg/kg). Slično je i kod *P. acerifolia* sa kontrolnog staništa gde su se vrednosti Cu kretale u opsegu od 9.42 mg/kg u junu do 27.54 mg/kg izmerenih u avgustu (Tabela 10). U kori svih ispitivanih vrsta sa svih lokaliteta u sezoni su utvrđene značajne razlike ($p < 0.001$) u sadržaju Cu u odnosu na kontrolno stanište, sa izuzetkom kore *P. acerifolia* iz Beograda u junu gde nisu zabeležene razlike (ns) (Tabela 10). Na nivou vrste, najveći sadržaj Cu u kori je pokazao *A. hippocastanum* (Tabela 11).

Sadržaj Fe u kori drvenastih vrsta se kretao u veoma širokom opsegu, od minimalnih 54.64 mg/kg izmerenih u kori *P. acerifolia* u Obrenovcu u oktobru do maksimalnih 2671.54 mg/kg u kori *A. hippocastanum*, iz parka u Beogradu, u oktobru (Tabela 12). U proseku, najniže vrednosti su izmerene u kori *P. nigra* (96.00-143.48 mg/kg) na kontrolnom staništu. Prosečno najviše vrednosti Fe su izmerene u kori *A. hippocastanum* iz parka u Beogradu (850.71-2671 mg/kg) i u Smederevu (1247.33-1888.97 mg/kg) (Tabela 12). U kori svih ispitivanih vrsta tokom cele sezone su utvrđene značajne razlike ($p < 0.001$) u koncentraciji Fe u odnosu na kontrolno stanište. Izuzetak je kora *A. hippocastanum* iz Pančeva i kora *P. acerifolia* iz Smedereva koje su uzorkovane u junu, gde je izmeren sličan sadržaj Fe (ns) u poređenju sa kontrolnim staništem (Tabela 12). Kada je o vrstama reč, *A. hippocastanum* je pokazao najveći sadržaj Fe u kori tokom cele sezone, manji sadržaj kora *P. nigra*, a najmanje Fe je izmereno u kori *P. acerifolia* (Tabela 13).

Sadržaj Mn u kori se kretao u širokom opsegu, od samo 3.23 mg/kg izmerenih u kori *P. nigra* sa kontrolnog staništa u junu do 156.44 mg/kg u kori *A. hippocastanum*, iz parka u Beogradu takođe izmerenih u junu (Tabela 14). Najniže vrednosti Mn u kori sve tri vrste su izmerene na kontrolnom staništu. Sa druge strane, najviši sadržaj Mn u

sezoni je izmeren u uzorcima *A. hippocastanum* iz parka u Beogradu, u junu i avgustu, gde je ujedno izmeren viši sadržaj u poređenju sa istim sa ostalih ispitivanih lokaliteta. Statistička analiza je pokazala postojanje značajnih razlika ($p < 0.001$) u sadržaju Mn u kori svih vrsta u odnosu na kontrolno stanište. Samo je kora *P. acerifolia* iz Smedereva i Obrenovca u junu imala sličan sadržaj (ns) Mn sa uzorcima sa kontrolnog staništa (Tabela 14). I u ovom slučaju, u kori *A. hippocastanum* je izmeren prosečno najviši sadržaj Mn (Tabela 15).

Sadržaj Sr u kori ispitivanih vrsta se kretao u širokom opsegu od 7.20 mg/kg u kori *P. nigra* iz parka u Pančevu u oktobru, do 346.88 mg/kg u kori *P. acerifolia* u parku u Beogradu, u avgustu. U proseku najniže koncentracije ovog elementa su izmerene u uzorcima sa kontrolnog staništa i u Pančevu što se posebno odnosi na koru *P. nigra*. Kod sve tri vrste je uočen sezonski trend smanjivanja koncentracija Sr u kori (Tabela 16). Na nivou lokaliteta, prosečno najviše koncentracije ovog elementa su izmerene u uzorcima u Beogradu što se posebno odnosi na *A. hippocastanum* i *P. acerifolia*, kao i u Smederevu kod *P. acerifolia*. Na ispitivanim lokalitetima, tokom sezone su utvrđene statistički značajne razlike ($p < 0.001$) u sadržaju Sr u odnosu na kontrolno stanište, sa izuzecima kore *P. nigra* iz Pančeva tokom cele sezone i Obrenovca u oktobru, i kore *A. hippocastanum* iz Smedereva i Obrenovca u junu (ns) (Tabela 16). Kada su vrste u pitanju, najniži sadržaj Sr je izmeren u kori *P. nigra*, dok se iz postojećih rezultata ne može utvrditi koja od druge dve vrste bolje akumulira Sr (Tabela 17), s obzirom da je usvajanje najviše zavisilo od lokaliteta.

Sadržaj Zn u kori ispitivanih vrsta biljaka se kretao u širokom opsegu od samo 3.08 mg/kg u kori *P. acerifolia* iz parka u Pančevu, u oktobru, do 145.12 mg/kg u kori *A. hippocastanum* iz parka u Beogradu, takođe izmerenih u oktobru (Tabela 18). Sezonska dinamika u količini ovog elementa u uzorcima kore drveća nije utvrđena, a kada je o prostornom gradijentu reč, po najvišim vrednostima se ističe park u Beogradu i to u uzorcima *A. hippocastanum* uzorkovanim u junu i oktobru. Slične vrednosti (ns) između parkova izloženih zagađivanju i kontrolnog staništa su izmerene u kori *P. nigra* u Pančevu tokom cele sezone i Obrenovcu u oktobru, zatim u kori *A. hippocastanum* u Pančevu i Obrenovcu u junu, kao i *P. acerifolia* u parku u Pančevu u avgustu, i Smederevu u oktobru (Tabela 18). Na svim drugim lokalitetima su utvrđene značajne razlike ($p < 0.001$). Na nivou vrste, i u ovom slučaju se *A. hippocastanum* izdvojio u

odnosu na druge dve ispitivane vrste po najvišem sadržaju Zn u kori. *P. acerifolia* je u proseku pokazao najmanju akumulaciju Zn u kori na svim lokalitetima izuzev u parku Pionir u Beogradu (Tabela 19).

Sadržaj As, Cd, Li i Se u kori ispitivanih vrsta je bio ispod granice detekcije aparata tokom cele vegetacijske sezone, dok su Cr, Ni i Pb detektovani u pojedinim uzorcima tokom sezone (Tabela 20). Hrom je izmeren u kori *P. nigra* i *A. hippocastanum* tokom sva tri sezonska preseka, dok je u kori *P. acerifolia* detektovan samo u uzorku iz avgusta. Prisustvo Ni je izmereno samo u uzorku kore *P. nigra* u junu, kod *A. hippocastanum* u uzorcima iz juna, i u Smederevu i Beogradu u avgustu i oktobru, dok ga u uzorcima *P. acerifolia* nije bilo. Olovo je detektovano u kori *P. nigra* i *P. acerifolia* u junu i oktobru, a u kori *A. hippocastanum* tokom cele sezone. Navedeni rezultati nisu podvrgnuti detaljnoj statističkoj analizi već su prikazani u formi srednjih vrednosti i standardne devijacije (Tabela 20).

Tabela 6. Sadržaj Al u kori ispitivanih vrsta u Pančevu (P), Smederevu (S), Obrenovcu (O), Beogradu (B) i na kontrolnom staništu (K) tokom vegetacijske sezone (ANOVA, n=5, *p<0.05, **p<0.001, ***p<0.001, ns – nema značajnih razlika)

<i>Pinus nigra</i> kora																		
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
P	195.97 (9.81)	/	***	***	***	***	334.86 (16.34)	/	***	***	ns	***	209.90 (14.91)	/	***	***	ns	***
S	414.65 (18.10)	***	/	ns	***	***	469.41 (25.44)	***	/	**	***	***	378.44 (19.83)	***	/	***	***	***
O	412.93 (7.34)	***	ns	/	***	***	416.72 (14.98)	***	**	/	ns	***	646.63 (14.30)	***	***	/	***	***
B	557.21 (26.80)	***	***	***	/	***	370.80 (12.88)	ns	***	ns	/	***	216.47 (28.03)	ns	***	***	/	***
K	79.55 (6.33)	***	***	***	***	/	78.80 (3.65)	***	***	***	***	/	98.99 (8.14)	***	***	***	***	/

<i>Aesculus hippocastanum</i> kora																		
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
P	270.95 (21.17)	/	***	***	***	ns	186.58 (12.51)	/	***	***	***	ns	216.02 (14.25)	/	***	***	***	***
S	630.44 (23.89)	***	/	***	***	***	553.29 (32.07)	***	/	***	***	***	561.24 (30.31)	***	/	***	***	***
O	992.47 (18.32)	***	***	/	***	***	703.86 (30.12)	***	***	/	**	***	686.07 (25.60)	***	***	/	***	***
B	1294.54 (17.35)	***	***	***	/	***	645.52 (28.01)	***	***	**	/	***	1404.66 (39.82)	***	***	***	/	***
K	277.61 (8.33)	ns	***	***	***	/	186.37 (8.37)	ns	***	***	***	/	907.41 (11.72)	***	***	***	***	/

<i>Platanus acerifolia</i> kora																		
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
P	243.59 (16.45)	/	***	***	***	***	247.58 (7.29)	/	***	ns	***	***	260.69 (8.05)	/	ns	***	***	ns
S	109.97 (7.83)	***	/	**	***	ns	113.38 (8.11)	***	/	***	***	ns	273.16 (22.12)	ns	/	***	***	***
O	56.69 (6.60)	***	**	/	***	***	251.69 (14.90)	ns	***	/	***	***	49.05 (4.98)	***	***	/	***	***
B	381.13 (24.53)	***	***	***	/	***	436.56 (20.91)	***	***	***	/	***	491.94 (11.54)	***	***	***	/	***
K	124.41 (10.23)	***	ns	***	***	/	66.13 (6.18)	***	ns	***	***	/	213.94 (8.27)	ns	***	***	***	/

Tabela 7. Razlike u sadržaju Al u kori *P. nigra* (P.n), *A. hippocastanum* (A.h) i *P. acerifolia* (P.a) u Pančevu, Smederevu, Obrenovcu, Beogradu i na kontrolnom staništu tokom vegetacijske sezone (ANOVA, n=5, *p<0.05, **p<0.001, ***p<0.001, ns – nema značajnih razlika)

JUN																					
Al [mg/kg]		Pančevo				Smederevo				Obrenovac				Beograd				Kontrola			
Vrsta	M(SD)	P.n	A.h	P.a	M(SD)	P.n	A.h	P.a	M(SD)	P.n	A.h	P.a	M(SD)	P.n	A.h	P.a	M(SD)	P.n	A.h	P.a	
<i>Pinus nigra</i>	195.97 (9.81)	/	***	ns	414.65 (18.10)	/	***	***	412.93 (7.34)	/	***	***	557.21 (26.80)	/	***	***	79.55 (6.33)	/	***	ns	
<i>Aesculus hippocastanum</i>	270.95 (21.17)	***	/	ns	630.44 (23.89)	***	/	***	992.47 (18.32)	***	/	***	1294.54 (17.35)	***	/	***	277.61 (8.33)	***	/	***	
<i>Platanus acerifolia</i>	243.59 (16.45)	ns	ns	/	109.97 (7.83)	***	***	/	56.69 (6.60)	***	***	/	381.13 (24.53)	***	***	/	124.41 (10.23)	ns	***	/	
AVGUST																					
Al [mg/kg]		Pančevo				Smederevo				Obrenovac				Beograd				Kontrola			
Vrsta	M(SD)	P.n	A.h	P.a	M(SD)	P.n	A.h	P.a	M(SD)	P.n	A.h	P.a	M(SD)	P.n	A.h	P.a	M(SD)	P.n	A.h	P.a	
<i>Pinus nigra</i>	334.86 (16.34)	/	***	***	469.41 (25.44)	/	***	***	416.72 (14.98)	/	***	***	370.80 (12.88)	/	***	***	78.80 (3.65)	/	***	ns	
<i>Aesculus hippocastanum</i>	186.58 (12.51)	***	/	**	553.29 (32.07)	***	/	***	703.86 (30.12)	***	/	***	645.52 (28.01)	***	/	***	186.37 (8.37)	***	/	***	
<i>Platanus acerifolia</i>	247.58 (7.29)	***	**	/	113.38 (8.11)	***	***	/	251.69 (14.90)	***	***	/	436.56 (20.91)	***	***	/	66.13 (6.18)	ns	***	/	
OKTOBAR																					
Al [mg/kg]		Pančevo				Smederevo				Obrenovac				Beograd				Kontrola			
Vrsta	M(SD)	P.n	A.h	P.a	M(SD)	P.n	A.h	P.a	M(SD)	P.n	A.h	P.a	M(SD)	P.n	A.h	P.a	M(SD)	P.n	A.h	P.a	
<i>Pinus nigra</i>	209.90 (14.91)	/	ns	*	378.44 (19.83)	/	***	***	646.63 (14.30)	/	ns	***	216.47 (28.03)	/	***	***	98.99 (8.14)	/	***	***	
<i>Aesculus hippocastanum</i>	216.02 (14.25)	ns	/	ns	561.24 (30.31)	***	/	***	686.07 (25.60)	ns	/	***	1404.66 (39.82)	***	/	***	907.41 (11.72)	***	/	***	
<i>Platanus acerifolia</i>	260.69 (8.05)	*	ns	/	273.16 (22.12)	***	***	/	49.05 (4.98)	***	***	/	491.94 (11.54)	***	***	/	213.94 (8.27)	***	***	/	

Tabela 8. Sadržaj B u kori ispitivanih vrsta u Pančevu (P), Smederevu (S), Obrenovcu (O), Beogradu (B) i na kontrolnom staništu (K) tokom vegetacijske sezone (ANOVA, n=5, *p<0.05, **p<0.001, ***p<0.001, ns – nema značajnih razlika)

<i>Pinus nigra</i> kora																		
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
P	4.68 (0.32)	/	***	ns	***	ns	8.83 (0.35)	/	***	ns	ns	***	9.56 (0.53)	/	***	**	***	***
S	10.73 (0.44)	***	/	***	ns	***	13.09 (1.32)	***	/	***	***	***	12.66 (0.25)	***	/	*	ns	***
O	5.97 (0.08)	ns	***	/	***	***	8.24 (0.28)	ns	***	/	***	***	11.27 (0.31)	**	*	/	ns	***
B	10.40 (0.25)	***	ns	***	/	***	10.07 (0.30)	ns	***	***	/	***	11.67 (0.71)	***	ns	ns	/	***
K	3.64 (0.17)	ns	***	***	***	/	5.73 (0.09)	***	***	***	***	/	6.49 (0.33)	***	***	***	***	/

<i>Aesculus hippocastanum</i> kora																		
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
P	7.05 (0.15)	/	***	***	***	***	10.56 (0.14)	/	***	***	***	ns	11.51 (0.48)	/	***	***	***	***
S	21.31 (0.27)	***	/	***	***	***	25.92 (0.94)	***	/	***	***	***	34.89 (0.95)	***	/	***	***	***
O	10.60 (0.28)	***	***	/	***	***	14.19 (0.49)	***	***	/	*	***	15.92 (0.61)	***	***	/	***	***
B	18.45 (0.39)	***	***	***	/	***	15.53 (0.59)	***	***	*	/	***	28.06 (0.82)	***	***	***	/	***
K	8.71 (0.04)	***	***	***	***	/	10.40 (0.29)	ns	***	***	***	/	19.71 (0.98)	***	***	***	***	/

<i>Platanus acerifolia</i> kora																		
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
P	10.92 (0.12)	/	ns	ns	ns	**	15.04 (0.45)	/	ns	ns	ns	***	18.58 (0.28)	/	***	*	***	***
S	12.00 (0.20)	ns	/	ns	ns	***	15.38 (0.18)	ns	/	ns	ns	***	25.70 (2.12)	***	/	***	***	***
O	10.41 (0.12)	ns	ns	/	ns	ns	14.53 (0.33)	ns	ns	/	ns	***	16.86 (0.86)	*	***	/	***	*
B	10.83 (0.12)	ns	ns	ns	/	**	15.81 (0.72)	ns	ns	ns	/	***	20.64 (0.97)	***	***	***	/	***
K	8.98 (0.14)	**	***	ns	**	/	11.73 (0.50)	***	***	***	***	/	15.12 (0.29)	***	***	*	***	/

Tabela 9. Razlike u sadržaju B u kori *P. nigra* (P.n), *A. hippocastanum* (A.h) i *P. acerifolia* (P.a) u Pančevu, Smederevu, Obrenovcu, Beogradu i na kontrolnom staništu tokom vegetacijske sezone (ANOVA, n=5, *p<0.05, **p<0.001, ***p<0.001, ns – nema značajnih razlika)

JUN																					
B [mg/kg]		Pančevo				Smederevo				Obrenovac				Beograd				Kontrola			
Vrsta	M(SD)	P.n	A.h	P.a	M(SD)	P.n	A.h	P.a	M(SD)	P.n	A.h	P.a	M(SD)	P.n	A.h	P.a	M(SD)	P.n	A.h	P.a	
<i>Pinus nigra</i>	4.68 (0.32)	/	***	***	10.73 (0.44)	/	***	ns	5.97 (0.08)	/	***	***	10.40 (0.25)	/	***	ns	3.64 (0.17)	/	***	***	
<i>Aesculus hippocastanum</i>	7.05 (0.15)	***	/	***	21.31 (0.27)	***	/	***	10.60 (0.28)	***	/	ns	18.45 (0.39)	***	/	***	8.71 (0.04)	***	/	ns	
<i>Platanus acerifolia</i>	10.92 (0.12)	***	***	/	12.00 (0.20)	ns	***	/	10.41 (0.12)	***	ns	/	10.83 (0.12)	ns	***	/	8.98 (0.14)	***	ns	/	
AVGUST																					
B [mg/kg]		Pančevo				Smederevo				Obrenovac				Beograd				Kontrola			
Vrsta	M(SD)	P.n	A.h	P.a	M(SD)	P.n	A.h	P.a	M(SD)	P.n	A.h	P.a	M(SD)	P.n	A.h	P.a	M(SD)	P.n	A.h	P.a	
<i>Pinus nigra</i>	8.83 (0.35)	/	*	***	13.09 (1.32)	/	***	***	8.24 (0.28)	/	***	***	10.07 (0.30)	/	***	***	5.73 (0.09)	/	***	***	
<i>Aesculus hippocastanum</i>	10.56 (0.14)	*	/	***	25.92 (0.94)	***	/	***	14.19 (0.49)	***	/	ns	15.53 (0.59)	***	/	ns	10.40 (0.29)	***	/	ns	
<i>Platanus acerifolia</i>	15.04 (0.45)	***	***	/	15.38 (0.18)	***	***	/	14.53 (0.33)	***	ns	/	15.81 (0.72)	***	ns	/	11.73 (0.50)	***	ns	/	
OKTOBAR																					
B [mg/kg]		Pančevo				Smederevo				Obrenovac				Beograd				Kontrola			
Vrsta	M(SD)	P.n	A.h	P.a	M(SD)	P.n	A.h	P.a	M(SD)	P.n	A.h	P.a	M(SD)	P.n	A.h	P.a	M(SD)	P.n	A.h	P.a	
<i>Pinus nigra</i>	9.56 (0.53)	/	**	***	12.66 (0.25)	/	***	***	11.27 (0.31)	/	***	***	11.67 (0.71)	/	***	***	6.49 (0.33)	/	***	***	
<i>Aesculus hippocastanum</i>	11.51 (0.48)	**	/	***	34.89 (0.95)	***	/	***	15.92 (0.61)	***	/	ns	28.06 (0.82)	***	/	***	19.71 (0.98)	***	/	***	
<i>Platanus acerifolia</i>	18.58 (0.28)	***	***	/	25.70 (2.12)	***	***	/	16.86 (0.86)	***	ns	/	20.64 (0.97)	***	***	/	15.12 (0.29)	***	***	/	

Tabela 10. Sadržaj Cu u kori ispitivanih vrsta u Pančevu (P), Smederevu (S), Obrenovcu (O), Beogradu (B) i na kontrolnom staništu (K) tokom vegetacijske sezone (ANOVA, n=5, *p<0.05, **p<0.001, ***p<0.001, ns – nema značajnih razlika)

<i>Pinus nigra</i> kora																		
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
P	4.46 (0.16)	/	***	ns	***	***	4.45 (0.44)	/	***	ns	ns	***	4.79 (0.42)	/	ns	**	ns	***
S	8.95 (0.19)	***	/	***	***	***	8.04 (0.78)	***	/	***	***	***	5.74 (0.32)	ns	/	***	ns	***
O	4.47 (0.40)	ns	***	/	***	***	3.45 (0.14)	ns	***	/	ns	***	3.30 (0.20)	**	***	/	*	***
B	7.22 (0.21)	***	***	***	/	***	3.98 (0.19)	ns	***	ns	/	***	4.63 (0.41)	ns	ns	*	/	***
K	10.61 (0.45)	***	***	***	***	/	11.27 (0.30)	***	***	***	***	/	10.48 (0.37)	***	***	***	***	/

<i>Aesculus hippocastanum</i> kora																		
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
P	7.37 (0.21)	/	***	***	***	***	8.74 (0.41)	/	ns	*	***	***	9.58 (0.51)	/	ns	***	***	***
S	9.29 (0.27)	***	/	***	***	***	8.75 (0.48)	ns	/	*	***	***	9.36 (0.39)	ns	/	***	***	***
O	5.60 (0.42)	***	***	/	***	***	7.48 (0.50)	*	*	/	***	***	7.03 (0.43)	***	***	/	***	***
B	40.11 (0.69)	***	***	***	/	***	28.89 (1.20)	***	***	***	/	***	63.97 (0.95)	***	***	***	/	***
K	16.52 (0.23)	***	***	***	***	/	22.89 (0.60)	***	***	***	***	/	18.60 (0.59)	***	***	***	***	/

<i>Platanus acerifolia</i> kora																		
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
P	6.22 (0.18)	/	***	***	***	***	5.82 (0.32)	/	***	ns	***	***	5.96 (0.68)	/	ns	***	***	***
S	3.04 (0.17)	***	/	ns	***	***	1.06 (0.14)	***	/	***	***	***	4.95 (0.36)	ns	/	***	***	***
O	4.05 (0.53)	***	ns	/	***	***	4.45 (0.32)	ns	***	/	***	***	2.92 (0.22)	***	***	/	***	***
B	8.23 (0.37)	***	***	***	/	ns	10.30 (0.67)	***	***	***	/	***	11.74 (0.76)	***	***	***	/	***
K	9.42 (0.27)	***	***	***	ns	/	27.54 (1.40)	***	***	***	***	/	17.38 (0.49)	***	***	***	***	/

Tabela 11. Razlike u sadržaju Cu u kori *P. nigra* (P.n), *A. hippocastanum* (A.h) i *P. acerifolia* (P.a) u Pančevu, Smederevu, Obrenovcu, Beogradu i na kontrolnom staništu tokom vegetacijske sezone (ANOVA, n=5, *p<0.05, **p<0.001, ***p<0.001, ns – nema značajnih razlika)

JUN																					
Cu [mg/kg]		Pančevo				Smederevo				Obrenovac				Beograd				Kontrola			
Vrsta	M(SD)	P.n	A.h	P.a	M(SD)	P.n	A.h	P.a	M(SD)	P.n	A.h	P.a	M(SD)	P.n	A.h	P.a	M(SD)	P.n	A.h	P.a	
<i>Pinus nigra</i>	4.46 (0.16)	/	***	***	8.95 (0.19)	/	ns	***	4.47 (0.40)	/	ns	ns	7.22 (0.21)	/	***	ns	10.68 (0.45)	/	***	ns	
<i>Aesculus hippocastanum</i>	7.37 (0.21)	***	/	*	9.29 (0.27)	ns	/	***	5.60 (0.42)	ns	/	*	40.11 (0.69)	***	/	***	16.52 (0.23)	***	/	***	
<i>Platanus acerifolia</i>	6.22 (0.18)	***	*	/	3.04 (0.17)	***	***	/	4.05 (0.53)	ns	*	/	8.23 (0.37)	ns	***	/	9.42 (0.27)	ns	***	/	
AVGUST																					
Cu [mg/kg]		Pančevo				Smederevo				Obrenovac				Beograd				Kontrola			
Vrsta	M(SD)	P.n	A.h	P.a	M(SD)	P.n	A.h	P.a	M(SD)	P.n	A.h	P.a	M(SD)	P.n	A.h	P.a	M(SD)	P.n	A.h	P.a	
<i>Pinus nigra</i>	4.45 (0.44)	/	***	ns	8.04 (0.78)	/	ns	***	3.45 (0.14)	/	***	ns	3.98 (0.19)	/	***	***	11.27 (0.30)	/	***	***	
<i>Aesculus hippocastanum</i>	8.74 (0.41)	***	/	***	8.75 (0.48)	ns	/	***	7.48 (0.50)	***	/	***	28.89 (1.20)	***	/	***	22.89 (0.60)	***	/	***	
<i>Platanus acerifolia</i>	5.82 (0.32)	ns	***	/	1.06 (0.14)	***	***	/	4.45 (0.32)	ns	***	/	10.30 (0.67)	***	***	/	27.54 (1.40)	***	***	/	
OKTOBAR																					
Cu [mg/kg]		Pančevo				Smederevo				Obrenovac				Beograd				Kontrola			
Vrsta	M(SD)	P.n	A.h	P.a	M(SD)	P.n	A.h	P.a	M(SD)	P.n	A.h	P.a	M(SD)	P.n	A.h	P.a	M(SD)	P.n	A.h	P.a	
<i>Pinus nigra</i>	4.79 (0.42)	/	***	ns	5.74 (0.32)	/	***	ns	3.30 (0.20)	/	***	ns	4.63 (0.41)	/	***	***	10.48 (0.37)	/	***	***	
<i>Aesculus hippocastanum</i>	9.58 (0.51)	***	/	***	9.36 (0.39)	***	/	***	7.03 (0.43)	***	/	***	63.97 (0.95)	***	/	***	18.60 (0.59)	***	/	ns	
<i>Platanus acerifolia</i>	5.96 (0.68)	ns	***	/	4.95 (0.36)	ns	***	/	2.92 (0.22)	ns	***	/	11.74 (0.76)	***	***	/	17.38 (0.49)	***	ns	/	

Tabela 12. Sadržaj Fe u kori ispitivanih vrsta u Pančevu (P), Smederevu (S), Obrenovcu (O), Beogradu (B) i na kontrolnom staništu (K) tokom vegetacijske sezone (ANOVA, n=5, *p<0.05, **p<0.001, ***p<0.001, ns – nema značajnih razlika)

<i>Pinus nigra</i> kora																		
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
P	269.26 (10.76)	/	***	ns	***	***	506.19 (9.60)	/	***	***	***	***	300.95 (16.69)	/	***	***	ns	***
S	803.62 (21.85)	***	/	***	***	***	1125.72 (43.68)	***	/	***	***	***	906.22 (13.63)	***	/	***	ns	***
O	302.21 (3.36)	ns	***	/	***	***	395.26 (22.20)	***	***	/	***	***	580.23 (12.11)	***	***	/	***	***
B	528.86 (16.92)	***	***	***	/	***	447.82 (14.86)	***	***	***	/	***	306.43 (8.83)	ns	***	***	/	***
K	96.00 (3.91)	***	***	***	***	/	102.08 (3.17)	***	***	***	***	/	143.48 (9.87)	***	***	***	***	/

<i>Aesculus hippocastanum</i> kora																		
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
P	253.79 (11.84)	/	***	***	***	ns	273.27 (16.02)	/	***	***	***	***	303.03 (11.57)	/	***	***	***	***
S	1247.33 (16.55)	***	/	***	ns	***	1657.92 (17.42)	***	/	***	***	***	1888.97 (3.41)	***	/	***	***	***
O	572.53 (15.47)	***	***	/	***	***	736.51 (15.16)	***	***	/	***	***	599.81 (4.73)	***	***	/	***	***
B	1247.89 (13.47)	***	ns	***	/	***	850.71 (8.81)	***	***	***	/	***	2671.54 (11.69)	***	***	***	/	***
K	238.62 (4.71)	ns	***	***	***	/	323.55 (6.72)	***	***	***	***	/	881.53 (4.79)	***	***	***	***	/

<i>Platanus acerifolia</i> kora																		
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
P	231.59 (7.34)	/	***	***	***	***	321.27 (4.38)	/	***	***	***	***	263.60 (4.24)	/	***	***	***	ns
S	172.54 (9.27)	***	/	***	***	ns	207.86 (7.36)	***	/	**	***	***	665.89 (8.17)	***	/	***	***	***
O	57.75 (1.65)	***	***	/	***	***	246.74 (5.96)	***	**	/	***	***	54.64 (4.35)	***	***	/	***	***
B	486.92 (6.21)	***	***	***	/	***	674.40 (4.77)	***	***	***	/	***	957.14 (12.41)	***	***	***	/	***
K	170.62 (3.38)	***	ns	***	***	/	92.15 (0.67)	***	***	***	***	/	240.26 (6.71)	ns	***	***	***	/

Tabela 13. Razlike u sadržaju Fe u kori *P. nigra* (P.n), *A. hippocastanum* (A.h) i *P. acerifolia* (P.a) u Pančevu, Smederevu, Obrenovcu, Beogradu i na kontrolnom staništu tokom vegetacijske sezone (ANOVA, n=5, *p<0.05, **p<0.001, ***p<0.001, ns – nema značajnih razlika)

JUN																				
Fe [mg/kg]	Pančevo				Smederevo				Obrenovac				Beograd				Kontrola			
	Vrsta	M(SD)	P.n	A.h	P.a	M(SD)	P.n	A.h	P.a	M(SD)	P.n	A.h	P.a	M(SD)	P.n	A.h	P.a	M(SD)	P.n	A.h
<i>Pinus nigra</i>	269.26 (10.76)	/	ns	**	803.62 (21.85)	/	***	***	302.21 (3.36)	/	***	***	528.86 (16.92)	/	***	***	96.00 (3.91)	/	***	***
<i>Aesculus hippocastanum</i>	253.79 (11.84)	ns	/	ns	1247.33 (16.55)	***	/	***	572.53 (15.47)	***	/	***	1247.89 (13.47)	***	/	***	238.62 (4.71)	***	/	***
<i>Platanus acerifolia</i>	231.59 (7.34)	**	ns	/	172.54 (9.27)	***	***	/	57.75 (1.65)	***	***	/	486.92 (6.21)	***	***	/	170.62 (3.38)	***	***	/
AVGUST																				
Fe [mg/kg]	Pančevo				Smederevo				Obrenovac				Beograd				Kontrola			
	Vrsta	M(SD)	P.n	A.h	P.a	M(SD)	P.n	A.h	P.a	M(SD)	P.n	A.h	P.a	M(SD)	P.n	A.h	P.a	M(SD)	P.n	A.h
<i>Pinus nigra</i>	506.19 (9.60)	/	***	***	1125.72 (43.68)	/	***	***	395.26 (22.20)	/	***	***	447.82 (14.86)	/	***	***	102.08 (3.17)	/	***	ns
<i>Aesculus hippocastanum</i>	273.27 (16.02)	***	/	***	1657.92 (17.42)	***	/	***	736.51 (15.16)	***	/	***	850.71 (8.81)	***	/	***	323.55 (6.72)	***	/	***
<i>Platanus acerifolia</i>	321.27 (4.38)	***	***	/	207.86 (7.36)	***	***	/	246.74 (5.96)	***	***	/	674.40 (4.77)	***	***	/	92.15 (0.67)	ns	***	/
OKTOBAR																				
Fe [mg/kg]	Pančevo				Smederevo				Obrenovac				Beograd				Kontrola			
	Vrsta	M(SD)	P.n	A.h	P.a	M(SD)	P.n	A.h	P.a	M(SD)	P.n	A.h	P.a	M(SD)	P.n	A.h	P.a	M(SD)	P.n	A.h
<i>Pinus nigra</i>	300.95 (16.69)	/	ns	**	906.22 (13.63)	/	***	***	580.23 (12.11)	/	ns	***	306.43 (8.83)	/	***	***	143.48 (9.87)	/	***	***
<i>Aesculus hippocastanum</i>	303.03 (11.57)	ns	/	**	1888.97 (3.41)	***	/	***	599.81 (4.73)	ns	/	***	2671.54 (11.69)	***	/	***	881.53 (4.79)	***	/	***
<i>Platanus acerifolia</i>	263.60 (4.24)	**	**	/	665.89 (8.17)	***	***	/	54.64 (4.35)	***	***	/	957.14 (12.41)	***	***	/	240.26 (6.71)	***	***	/

Tabela 14. Sadržaj Mn u kori ispitivanih vrsta u Pančevu (P), Smederevu (S), Obrenovcu (O), Beogradu (B) i na kontrolnom staništu (K) tokom vegetacijske sezone (ANOVA, n=5, *p<0.05, **p<0.001, ***p<0.001, ns – nema značajnih razlika)

<i>Pinus nigra</i> kora																		
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
P	9.84 (0.42)	/	***	ns	***	***	15.79 (0.77)	/	***	ns	***	***	12.47 (0.23)	/	***	***	**	***
S	40.20 (0.71)	***	/	***	ns	***	37.27 (0.89)	***	/	***	ns	***	20.89 (0.69)	***	/	ns	***	***
O	11.77 (0.71)	ns	***	/	***	***	14.48 (0.57)	ns	***	/	***	***	19.45 (0.41)	***	ns	/	***	***
B	39.13 (1.75)	***	ns	***	/	***	34.60 (0.90)	***	ns	***	/	***	9.31 (0.40)	**	***	***	/	***
K	3.23 (0.04)	***	***	***	***	/	3.94 (0.13)	***	***	***	***	/	4.02 (0.19)	***	***	***	***	/

<i>Aesculus hippocastanum</i> kora																		
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
P	43.88 (0.85)	/	***	ns	***	***	54.97 (1.69)	/	***	ns	***	***	60.47 (1.14)	/	***	***	***	***
S	83.13 (1.44)	***	/	***	***	***	76.86 (2.36)	***	/	***	***	***	67.66 (1.14)	***	/	***	***	***
O	44.35 (1.58)	ns	***	/	***	***	54.66 (1.77)	ns	***	/	***	***	36.03 (1.50)	***	***	/	***	**
B	156.44 (4.37)	***	***	***	/	***	129.04 (2.06)	***	***	***	/	***	79.22 (0.99)	***	***	***	/	***
K	19.30 (0.47)	***	***	***	***	/	18.21 (0.19)	***	***	***	***	/	32.77 (0.86)	***	***	**	**	/

<i>Platanus acerifolia</i> kora																		
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
P	26.55 (0.23)	/	***	***	*	***	32.88 (0.61)	/	***	***	ns	***	32.26 (0.50)	/	***	***	ns	***
S	14.08 (0.33)	***	/	ns	***	ns	18.46 (0.12)	***	/	ns	***	***	23.78 (1.32)	***	/	***	***	***
O	12.32 (0.24)	***	ns	/	***	ns	20.74 (0.48)	***	ns	/	***	***	18.26 (0.65)	***	***	/	***	***
B	23.33 (1.34)	*	***	***	/	***	33.27 (1.16)	ns	***	***	/	***	33.61 (1.36)	ns	***	***	/	***
K	14.01 (0.19)	***	ns	ns	***	/	9.99 (0.33)	***	***	***	***	/	13.89 (0.21)	***	***	***	***	/

Tabela 15. Razlike u sadržaju Mn u kori *P. nigra* (P.n), *A. hippocastanum* (A.h) i *P. acerifolia* (P.a) u Pančevu, Smederevu, Obrenovcu, Beogradu i na kontrolnom staništu tokom vegetacijske sezone (ANOVA, n=5, *p<0.05, **p<0.001, ***p<0.001, ns – nema značajnih razlika)

JUN																					
Mn [mg/kg]		Pančevo				Smederevo				Obrenovac				Beograd				Kontrola			
Vrsta	M(SD)	P.n	A.h	P.a	M(SD)	P.n	A.h	P.a	M(SD)	P.n	A.h	P.a	M(SD)	P.n	A.h	P.a	M(SD)	P.n	A.h	P.a	
<i>Pinus nigra</i>	9.84 (0.42)	/	***	***	40.20 (0.71)	/	***	***	11.77 (0.71)	/	***	ns	39.13 (1.75)	/	***	***	3.23 (0.04)	/	***	***	
<i>Aesculus hippocastanum</i>	43.88 (0.85)	***	/	***	83.13 (1.44)	***	/	***	44.35 (1.58)	***	/	***	156.44 (4.37)	***	/	***	19.30 (0.47)	***	/	***	
<i>Platanus acerifolia</i>	26.55 (0.23)	***	***	/	14.08 (0.33)	***	***	/	12.32 (0.24)	ns	***	/	23.33 (1.34)	***	***	/	14.01 (0.19)	***	***	/	
AVGUST																					
Mn [mg/kg]		Pančevo				Smederevo				Obrenovac				Beograd				Kontrola			
Vrsta	M(SD)	P.n	A.h	P.a	M(SD)	P.n	A.h	P.a	M(SD)	P.n	A.h	P.a	M(SD)	P.n	A.h	P.a	M(SD)	P.n	A.h	P.a	
<i>Pinus nigra</i>	15.79 (0.77)	/	***	***	37.27 (0.89)	/	***	***	14.48 (0.57)	/	***	***	34.60 (0.90)	/	***	ns	3.94 (0.13)	/	***	***	
<i>Aesculus hippocastanum</i>	54.97 (1.69)	***	/	***	76.86 (2.36)	***	/	***	54.66 (1.77)	***	/	***	129.04 (2.06)	***	/	***	18.21 (0.19)	***	/	***	
<i>Platanus acerifolia</i>	32.88 (0.61)	***	***	/	18.46 (0.12)	***	***	/	20.74 (0.48)	***	***	/	33.27 (1.16)	ns	***	/	9.99 (0.33)	***	***	/	
OKTOBAR																					
Mn [mg/kg]		Pančevo				Smederevo				Obrenovac				Beograd				Kontrola			
Vrsta	M(SD)	P.n	A.h	P.a	M(SD)	P.n	A.h	P.a	M(SD)	P.n	A.h	P.a	M(SD)	P.n	A.h	P.a	M(SD)	P.n	A.h	P.a	
<i>Pinus nigra</i>	12.47 (0.23)	/	***	***	20.89 (0.69)	/	***	ns	19.45 (0.41)	/	***	ns	9.31 (0.40)	/	***	***	4.02 (0.19)	/	***	***	
<i>Aesculus hippocastanum</i>	60.47 (1.14)	***	/	***	67.66 (1.14)	***	/	***	36.03 (1.50)	***	/	***	79.22 (0.99)	***	/	***	32.77 (0.86)	***	/	***	
<i>Platanus acerifolia</i>	32.26 (0.50)	***	***	/	23.78 (1.32)	ns	***	/	18.26 (0.65)	ns	***	/	33.61 (1.36)	***	***	/	13.89 (0.21)	***	***	/	

Tabela 16. Sadržaj Sr u kori ispitivanih vrsta u Pančevu (P), Smederevu (S), Obrenovcu (O), Beogradu (B) i na kontrolnom staništu (K) tokom vegetacijske sezone (ANOVA, n=5, *p<0.05, **p<0.001, ***p<0.001, ns – nema značajnih razlika)

<i>Pinus nigra</i> kora																		
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
P	13.47 (0.59)	/	***	***	***	ns	8.34 (0.33)	/	***	***	***	ns	7.20 (0.46)	/	***	ns	***	ns
S	25.27 (0.75)	***	/	***	***	***	19.35 (0.43)	***	/	***	***	***	13.12 (0.79)	***	/	ns	***	***
O	18.64 (0.14)	***	****	/	***	***	14.60 (0.17)	***	***	/	***	***	10.08 (0.28)	ns	ns	/	***	ns
B	33.33 (0.79)	***	***	***	/	***	26.03 (1.58)	***	***	***	/	***	18.10 (1.09)	***	***	***	/	***
K	12.74 (0.21)	ns	***	***	***	/	9.15 (0.61)	ns	***	***	***	/	8.15 (0.25)	ns	***	ns	***	/

<i>Aesculus hippocastanum</i> kora																		
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
P	58.53 (1.46)	/	***	***	***	***	58.45 (1.38)	/	***	***	***	***	48.52 (1.08)	/	***	***	***	***
S	67.62 (0.90)	***	/	ns	***	ns	66.07 (2.26)	***	/	ns	***	***	41.53 (0.84)	***	/	ns	***	***
O	70.02 (1.30)	***	ns	/	***	ns	65.75 (1.82)	***	ns	/	***	***	41.82 (0.71)	***	ns	/	***	***
B	245.41 (3.60)	***	***	***	/	***	229.62 (2.15)	***	***	***	/	***	129.00 (2.39)	***	***	***	/	***
K	69.91 (0.94)	***	ns	ns	***	/	74.47 (2.40)	***	***	***	***	/	62.02 (1.74)	***	***	***	***	/

<i>Platanus acerifolia</i> kora																		
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
P	35.64 (0.64)	/	***	ns	***	***	35.66 (0.69)	/	***	***	***	***	36.43 (0.99)	/	***	ns	***	***
S	127.78 (2.91)	***	/	***	***	***	134.20 (3.15)	***	/	***	***	***	100.40 (4.86)	***	/	***	***	***
O	40.11 (0.38)	ns	***	/	***	***	48.99 (1.99)	***	***	/	***	***	38.65 (1.49)	ns	***	/	***	***
B	304.63 (10.05)	***	***	***	/	***	346.88 (11.93)	***	***	***	/	***	251.51 (3.82)	***	***	***	/	***
K	63.43 (0.85)	***	***	***	***	/	63.79 (1.98)	***	***	***	***	/	56.89 (1.56)	***	***	***	***	/

Tabela 17. Razlike u sadržaju Sr u kori *P. nigra* (P.n), *A. hippocastanum* (A.h) i *P. acerifolia* (P.a) u Pančevu, Smederevu, Obrenovcu, Beogradu i na kontrolnom staništu tokom vegetacijske sezone (ANOVA, n=5, *p<0.05, **p<0.001, ***p<0.001, ns – nema značajnih razlika)

JUN																					
Sr [mg/kg]		Pančevo				Smederevo				Obrenovac				Beograd				Kontrola			
Vrsta	M(SD)	P.n	A.h	P.a	M(SD)	P.n	A.h	P.a	M(SD)	P.n	A.h	P.a	M(SD)	P.n	A.h	P.a	M(SD)	P.n	A.h	P.a	
<i>Pinus nigra</i>	13.47 (0.59)	/	***	***	25.27 (0.75)	/	***	***	18.64 (0.14)	/	***	***	33.33 (0.79)	/	***	***	12.74 (0.21)	/	***	***	
<i>Aesculus hippocastanum</i>	58.53 (1.46)	***	/	***	67.62 (0.90)	***	/	***	70.02 (1.30)	***	/	***	245.41 (3.60)	***	/	***	69.91 (0.94)	***	/	ns	
<i>Platanus acerifolia</i>	35.64 (0.64)	***	***	/	127.78 (2.91)	***	***	/	40.11 (0.38)	***	***	/	304.63 (10.05)	***	***	/	63.43 (0.85)	***	ns	/	
AVGUST																					
Sr [mg/kg]		Pančevo				Smederevo				Obrenovac				Beograd				Kontrola			
Vrsta	M(SD)	P.n	A.h	P.a	M(SD)	P.n	A.h	P.a	M(SD)	P.n	A.h	P.a	M(SD)	P.n	A.h	P.a	M(SD)	P.n	A.h	P.a	
<i>Pinus nigra</i>	8.34 (0.33)	/	***	***	19.35 (0.43)	/	***	***	14.60 (0.17)	/	***	***	26.03 (1.58)	/	***	***	9.15 (0.61)	/	***	***	
<i>Aesculus hippocastanum</i>	58.45 (1.38)	***	/	***	66.07 (2.26)	***	/	***	65.75 (1.82)	***	/	***	229.62 (2.15)	***	/	***	74.47 (2.40)	***	/	***	
<i>Platanus acerifolia</i>	35.66 (0.69)	***	***	/	134.20 (3.15)	***	***	/	48.99 (1.99)	***	***	/	346.88 (11.93)	***	***	/	63.79 (1.98)	***	***	/	
OKTOBAR																					
Sr [mg/kg]		Pančevo				Smederevo				Obrenovac				Beograd				Kontrola			
Vrsta	M(SD)	P.n	A.h	P.a	M(SD)	P.n	A.h	P.a	M(SD)	P.n	A.h	P.a	M(SD)	P.n	A.h	P.a	M(SD)	P.n	A.h	P.a	
<i>Pinus nigra</i>	7.20 (0.46)	/	***	***	13.12 (0.79)	/	***	***	10.08 (0.28)	/	***	***	18.10 (1.09)	/	***	***	8.15 (0.25)	/	***	***	
<i>Aesculus hippocastanum</i>	48.52 (1.08)	***	/	***	41.53 (0.84)	***	/	***	41.82 (0.71)	***	/	ns	129.00 (2.39)	***	/	***	62.02 (1.74)	***	/	ns	
<i>Platanus acerifolia</i>	36.43 (0.99)	***	***	/	100.40 (4.86)	***	***	/	38.65 (1.49)	***	ns	/	251.51 (3.82)	***	***	/	56.89 (1.56)	***	ns	/	

Tabela 18. Sadržaj Zn u kori ispitivanih vrsta u Pančevu (P), Smederevu (S), Obrenovcu (O), Beogradu (B) i na kontrolnom staništu (K) tokom vegetacijske sezone (ANOVA, n=5, *p<0.05, **p<0.001, ***p<0.001, ns – nema značajnih razlika)

<i>Pinus nigra</i> kora																		
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
P	14.15 (0.57)	/	***	***	***	ns	22.94 (0.56)	/	***	***	***	ns	24.41 (1.59)	/	***	ns	*	ns
S	40.94 (0.55)	***	/	***	ns	***	36.58 (2.59)	***	/	***	***	***	35.24 (0.54)	***	/	***	***	***
O	19.78 (1.72)	***	***	/	***	***	15.78 (0.75)	***	***	/	***	**	23.36 (0.74)	ns	***	/	***	ns
B	41.98 (3.79)	***	ns	***	/	***	32.38 (0.63)	***	***	***	/	***	28.42 (0.81)	*	***	***	/	***
K	13.61 (1.47)	ns	***	***	***	/	20.08 (0.46)	ns	***	**	***	/	21.57 (1.33)	ns	***	ns	***	/

<i>Aesculus hippocastanum</i> kora																		
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
P	12.14 (0.64)	/	***	**	***	ns	24.61 (1.43)	/	***	ns	***	***	20.53 (1.41)	/	***	ns	***	***
S	49.50 (1.68)	***	/	***	***	***	44.50 (2.68)	***	/	***	***	***	55.18 (2.14)	***	/	***	***	***
O	16.41 (0.39)	**	***	/	***	ns	24.74 (2.74)	ns	***	/	***	***	23.74 (1.71)	ns	***	/	***	***
B	104.60 (2.23)	***	***	***	/	***	58.87 (1.80)	***	***	***	/	***	145.12 (1.70)	***	***	***	/	***
K	12.78 (0.79)	ns	***	ns	***	/	13.53 (0.95)	***	***	***	***	/	35.96 (2.71)	***	***	***	***	/

<i>Platanus acerifolia</i> kora																		
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
P	8.25 (0.44)	/	ns	ns	***	***	14.44 (3.19)	/	***	***	***	ns	3.08 (0.58)	/	***	ns	***	***
S	9.63 (0.32)	ns	/	ns	***	***	6.51 (1.10)	***	/	ns	***	***	21.32 (0.92)	***	/	***	***	ns
O	7.26 (1.35)	ns	ns	/	***	***	5.23 (0.54)	***	ns	/	***	***	5.92 (1.19)	ns	***	/	***	***
B	34.74 (5.51)	***	***	***	/	***	40.10 (1.25)	***	***	***	/	***	50.79 (2.56)	***	***	***	/	***
K	17.46 (1.66)	***	***	***	***	/	15.35 (1.81)	ns	***	***	***	/	16.22 (0.83)	***	ns	***	***	/

Tabela 19. Razlike u sadržaju Zn u kori *P. nigra* (P.n), *A. hippocastanum* (A.h) i *P. acerifolia* (P.a) u Pančevu, Smederevu, Obrenovcu, Beogradu i na kontrolnom staništu tokom vegetacijske sezone (ANOVA, n=5, *p<0.05, **p<0.001, ***p<0.001, ns – nema značajnih razlika)

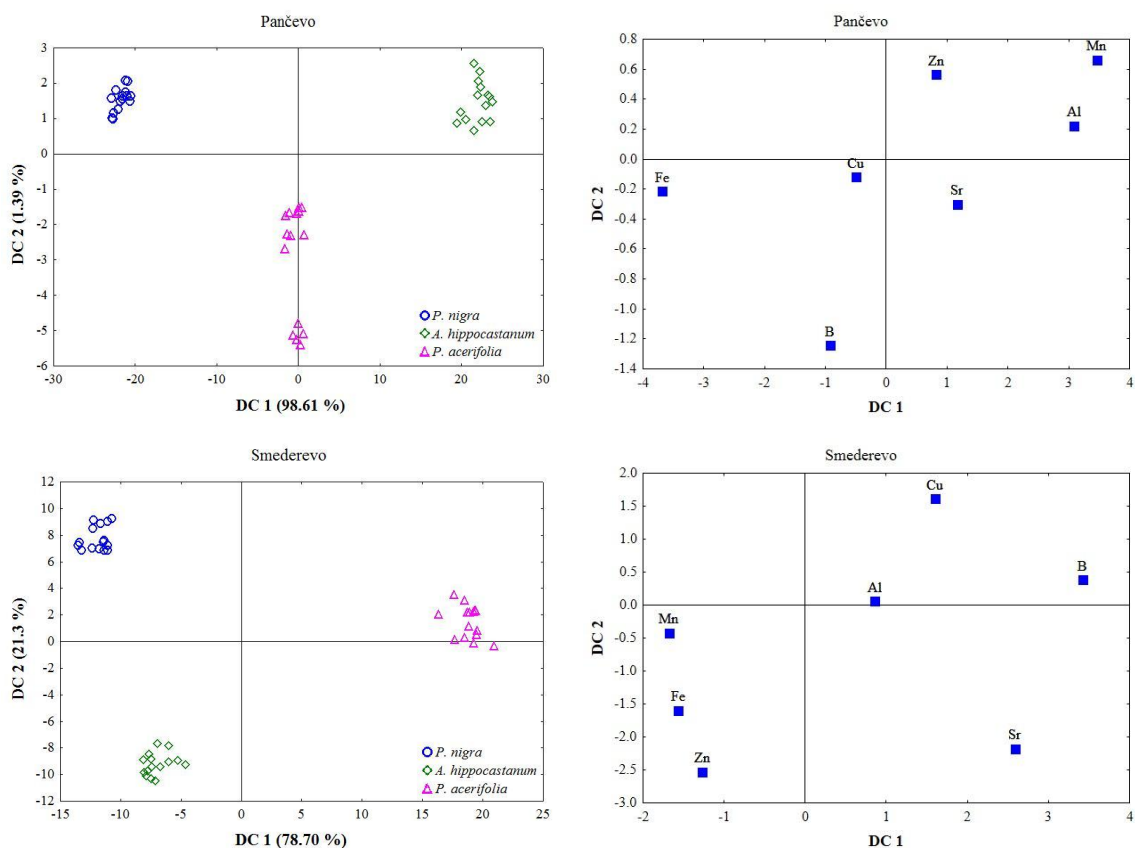
JUN																					
Zn [mg/kg]		Pančevo				Smederevo				Obrenovac				Beograd				Kontrola			
Vrsta	M(SD)	P.n	A.h	P.a	M(SD)	P.n	A.h	P.a	M(SD)	P.n	A.h	P.a	M(SD)	P.n	A.h	P.a	M(SD)	P.n	A.h	P.a	
<i>Pinus nigra</i>	14.15 (0.57)	/	ns	**	40.94 (0.55)	/	***	***	19.78 (1.72)	/	**	***	41.98 (3.79)	/	***	***	13.61 (1.47)	/	ns	ns	
<i>Aesculus hippocastanum</i>	12.14 (0.64)	ns	/	ns	49.50 (1.68)	***	/	***	16.41 (0.39)	**	/	***	104.60 (2.23)	***	/	***	12.78 (0.79)	ns	/	ns	
<i>Platanus acerifolia</i>	8.25 (0.44)	**	ns	/	9.63 (0.32)	***	***	/	7.26 (1.35)	***	***	/	34.74 (5.51)	***	***	/	17.46 (1.66)	ns	ns	/	
AVGUST																					
Zn [mg/kg]		Pančevo				Smederevo				Obrenovac				Beograd				Kontrola			
Vrsta	M(SD)	P.n	A.h	P.a	M(SD)	P.n	A.h	P.a	M(SD)	P.n	A.h	P.a	M(SD)	P.n	A.h	P.a	M(SD)	P.n	A.h	P.a	
<i>Pinus nigra</i>	22.94 (0.56)	/	ns	***	36.58 (2.59)	/	***	***	15.78 (0.75)	/	***	***	32.38 (0.64)	/	***	***	20.08 (0.46)	/	***	ns	
<i>Aesculus hippocastanum</i>	24.61 (1.43)	ns	/	***	44.50 (2.68)	***	/	***	24.74 (2.74)	***	/	***	58.87 (1.80)	***	/	***	13.53 (0.95)	***	/	ns	
<i>Platanus acerifolia</i>	14.44 (3.19)	***	***	/	14.44 (3.19)	***	***	/	5.23 (0.54)	***	***	/	40.10 (1.25)	***	***	/	15.35 (1.81)	ns	ns	/	
OKTOBAR																					
Zn [mg/kg]		Pančevo				Smederevo				Obrenovac				Beograd				Kontrola			
Vrsta	M(SD)	P.n	A.h	P.a	M(SD)	P.n	A.h	P.a	M(SD)	P.n	A.h	P.a	M(SD)	P.n	A.h	P.a	M(SD)	P.n	A.h	P.a	
<i>Pinus nigra</i>	24.41 (1.59)	/	*	***	35.24 (0.54)	/	***	***	23.36 (0.74)	/	ns	***	28.42 (0.81)	/	***	***	21.57 (1.33)	/	***	*	
<i>Aesculus hippocastanum</i>	20.53 (1.41)	*	/	***	55.18 (2.14)	***	/	***	23.74 (1.71)	ns	/	***	145.12 (1.70)	***	/	***	35.96 (2.71)	***	/	***	
<i>Platanus acerifolia</i>	3.08 (0.58)	***	***	/	21.32 (0.92)	***	***	/	5.92 (1.19)	***	***	/	50.79 (2.56)	***	***	/	16.22 (0.83)	*	***	/	

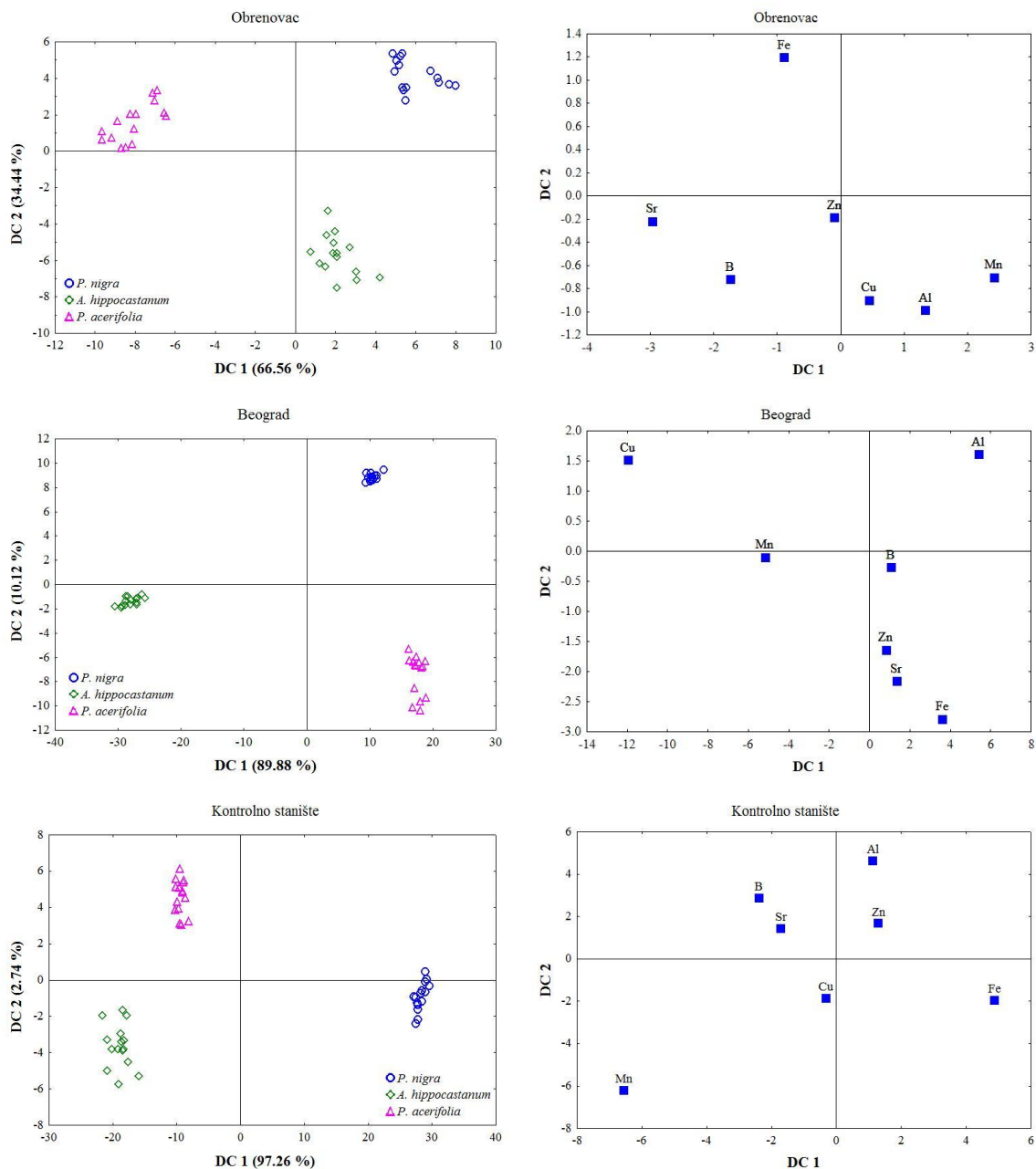
Tabela 20. Sadržaj Cr, Ni i Pb u kori ispitivanih vrsta

<i>Pinus nigra</i> kora									
Lokalitet	JUN			AVGUST			OKTOBAR		
	Cr	Ni	Pb	Cr	Ni	Pb	Cr	Ni	Pb
Pančevo	1.63 (0.23)	2.41 (0.09)	4.28 (0.16)	4.09 (0.58)	/	12.63 (0.29)	2.51 (0.24)	/	11.14 (0.44)
Smederevo	3.55 (0.23)	4.29 (0.24)	12.00 (0.31)	4.68 (0.21)	/	14.23 (0.40)	7.64 (0.52)	/	15.55 (0.26)
Obrenovac	3.01 (0.06)	3.06 (0.11)	4.14 (0.09)	2.84 (0.15)	/	/	6.40 (0.33)	/	6.17 (0.10)
Beograd	6.67 (0.25)	4.71 (0.10)	5.87 (0.17)	3.51 (0.20)	/	5.03 (0.11)	5.29 (0.31)	/	7.54 (0.32)
Kontrola	/	2.00 (0.04)	2.29 (0.06)	/	/	/	1.21 (0.11)	/	2.21 (0.13)
<i>Aesculus hippocastanum</i> kora									
Lokalitet	JUN			AVGUST			OKTOBAR		
	Cr	Ni	Pb	Cr	Ni	Pb	Cr	Ni	Pb
Pančevo	1.04 (0.02)	2.38 (0.10)	6.58 (0.17)	0.90 (0.10)	/	10.97 (0.47)	2.00 (0.04)	/	11.88 (0.17)
Smederevo	2.57 (0.14)	5.66 (0.18)	12.70 (0.49)	5.59 (0.36)	3.78 (0.23)	16.43 (0.63)	9.27 (0.34)	2.07 (0.23)	24.04 (0.50)
Obrenovac	1.70 (0.08)	3.64 (0.14)	5.39 (0.29)	3.06 (0.08)	/	10.71 (0.46)	4.05 (0.39)	/	14.14 (0.30)
Beograd	3.55 (0.10)	9.21 (0.25)	37.52 (0.63)	4.34 (0.50)	11.13 (0.19)	36.81 (0.12)	12.61 (0.16)	13.28 (0.33)	25.15 (0.64)
Kontrola	0.97 (0.03)	3.00 (0.04)	5.94 (0.17)	1.16 (0.27)	/	14.31 (0.51)	5.35 (0.25)	/	20.32 (0.37)
<i>Platanus acerifolia</i> kora									
Lokalitet	JUN			AVGUST			OKTOBAR		
	Cr	Ni	Pb	Cr	Ni	Pb	Cr	Ni	Pb
Pančevo	/	/	1.85 (0.11)	1.33 (0.07)	/	/	/	/	/
Smederevo	/	/	1.99 (0.16)	1.04 (0.07)	/	/	/	/	6.94 (0.08)
Obrenovac	/	/	2.32 (0.27)	1.17 (0.01)	/	/	/	/	/
Beograd	/	/	5.65 (0.31)	3.17 (0.16)	/	5.75 (0.33)	/	/	9.00 (0.06)
Kontrola	/	/	3.48 (0.24)	0.65 (0.01)	/	/	/	/	6.16 (0.15)

5.2.2 Razlike između drvenastih vrsta na osnovu sadržaja hemijskih elemenata u kori

Utvrđivanje razlika u ukupnom sadržaju Al, B, Cu, Fe, Mn, Sr i Zn u kori ispitivanih vrsta je analizirano metodom kanonijske diskriminacione analize. Rezultati analize pokazuju jasna razdvajanja vrsta na ispitivanim staništima (Slika 11). U Pančevu, na prvu diskriminantnu funkciju (DC1) koja objašnjava 98.61 % razlika najveći uticaj na razdvajanje vrsta imaju Al, Mn i Fe, dok na drugu diskriminantnu funkciju (DC2 – 1.39 %) najveći značaj ima B. U Smederevu, na DC1 (78.70 %) na razdvajanje vrsta dominantni uticaj imaju B, Mn i Sr, dok na DC2 koja doprinosi sa 21.30 % utiču Cu, Sr i Zn. U Obrenovcu, najznačajniji uticaj na DC1 (66.56 %) imaju Mn i Sr, dok na DC 2 (34.44 %) najznačajniji uticaj ima Fe. Rezultati CD analize u Beogradu ukazuju na to da na razdvajanje između vrsta na DC1 – 89.88 % najviše utiču Al, Cu i Mn, dok na drugu DC2 – 10.12% Fe i Sr. Na kontrolnom staništu, na osnovu prve diskriminantne funkcije koja objašnjava 90.26 % razlika u sadržaju ispitivanih elemenata, najveći značaj na razdvajanje ispitivanih vrsta imaju Fe i Mn, a na drugu funkciju (DC2) koja objašnjava samo 2.74 % imaju Al i Mn.



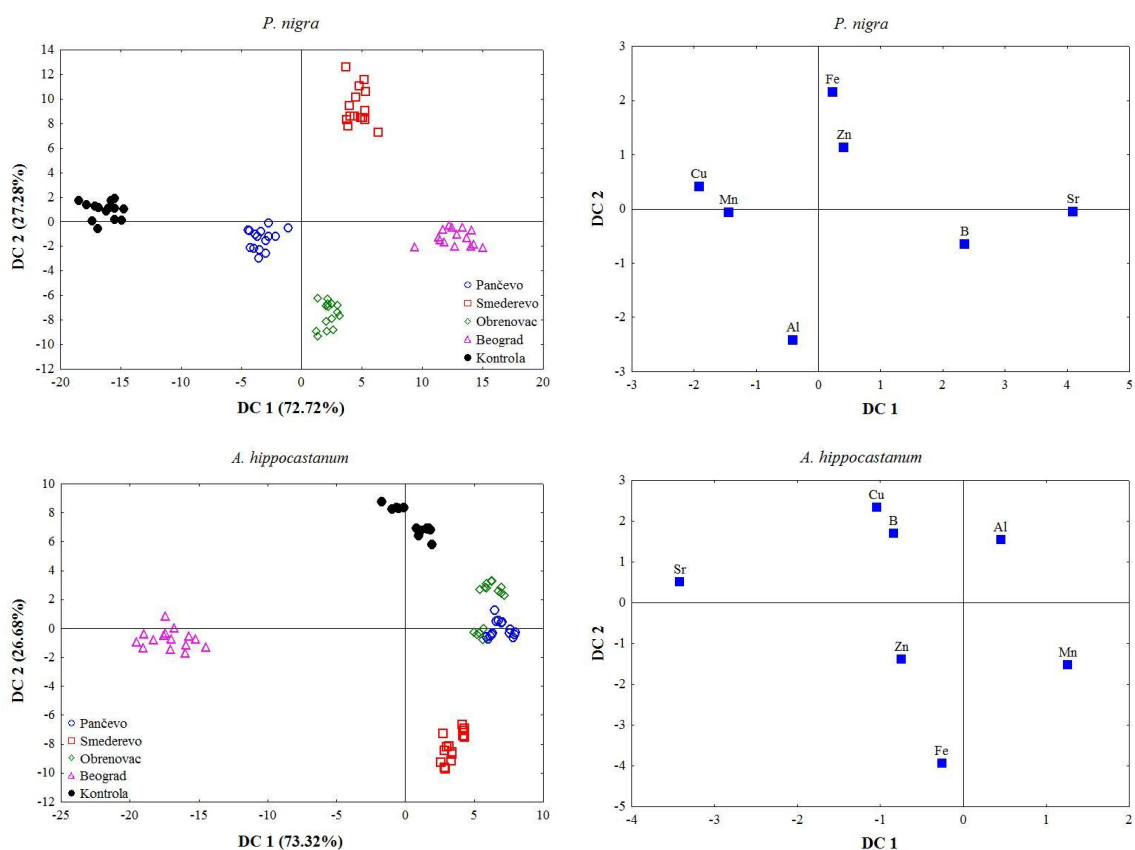


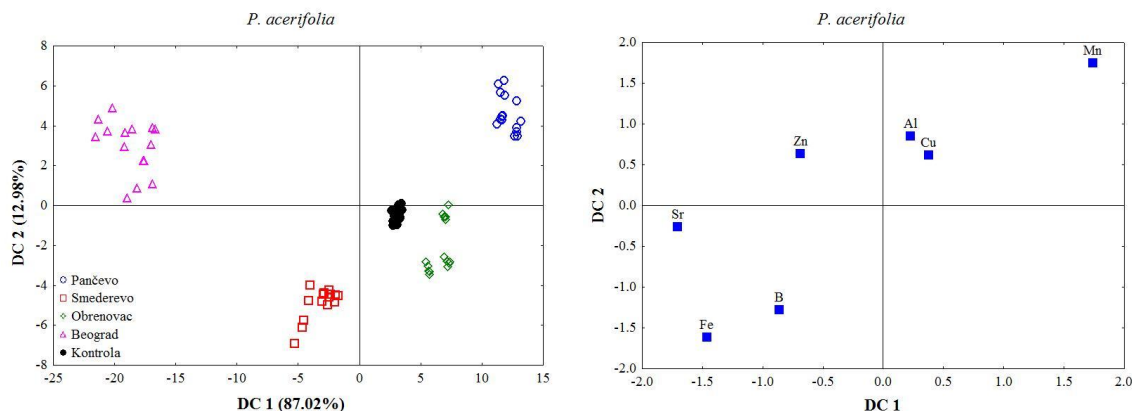
Slika 11. Pozicije rodova biljaka u prostoru I i II diskriminantne ose na osnovu sadržaja hemijskih elemenata u kori (A) i značaj pojedinih metala u diskriminaciji (B)

5.2.3 Razlike između lokaliteta na osnovu sadržaja hemijskih elemenata u kori drvenastih vrsta

Razlike u ukupnom sadržaju Al, B, Cu, Fe, Mn, Sr i Zn u kori ispitivanih vrsta su takođe određene primenom kanonijske diskriminantne analize (Slika 12). Svi lokaliteti na kojima raste *P. nigra* su jasno razdvojeni na osnovu prve diskriminantne funkcije

(DC1) koja objašnjava 72.72 % razlika gde najveći uticaj na razdvajanje imaju B, Cu i Sr. Na drugu diskriminantnu funkciju (DC2) koja opisuje 27.28 % razlika najznačajniji uticaj imaju Al i Fe. Sa druge strane na osnovu sadržaja elemenata u kori *A. hippocastanum*, Smederevo, Beograd i kontrolno stanište su jasno odvojeni po DC1 koja opisuje 73.32 % razlika, pri čemu najveći uticaj imaju Cu, Mn i Sr. Međutim, upravo zbog sličnih koncentracija Cu, Mn i Sr do preklapanja dolazi između Pančeva i Obrenovca. Na DC2 koja je odgovorna za 26.68 % razlika, najznačajniji je uticaj Cu i Fe. Slično, kao i u kori *P. nigra* i u kori *P. acerifolia* postoji jasno razdvajanje lokaliteta na osnovu sadržaja elemenata, po DC1 (87.02 %) gde najveći uticaj imaju Fe, Mn i Sr, dok prema DC2 (12.98 %) na razlike najviše utiču B, Fe i Mn.





Slika 12. Pozicije lokaliteta u prostoru I i II diskriminantne ose na osnovu sadržaja hemijskih elemenata u kori (A) i značaj pojedinih metala u diskriminaciji (B)

5.2.4 Odnos između koncentracija hemijskih elemenata u kori drvenastih vrsta biljaka i zemljištu u urbanim parkovima

U cilju razumevanja puteva usvajanja, raspodele i akumulacije elemenata, korišćenjem Pirsonovog koeficijenta korelacije (r) analizirani su odnosi između sadržaja hemijskih elemenata u kori ispitivanih vrsta i zemljištu, tokom sva tri sezonska preseka na istraživanim lokalitetima, a u razmatranje su uzeti samo statistički značajni koeficijenti korelacije ($*p < 0.05$, $**p < 0.01$).

Pirsonove korelacione matrice su pokazale određene statistički značajne korelacije između koncentracija metala u kori ispitivanih vrsta i u uzorcima zemljišta (Z) u zavisnosti od elementa, sezone i lokaliteta. Kada je u pitanju kora *P. nigra*, jedina statistički značajna negativna korelacija u junu između *P. nigra* i zemljišta je utvrđena za Fe-Fe Z ($r = -0.981^{**}$) na lokalitetu Obrenovac. U avgustu, značajna negativna korelacija za Sr-Sr Z ($r = -0.955^*$) je utvrđena na lokalitetu Pančevo. Najveća pozitivna korelisanost između sadržaja elemenata u kori *P. nigra* i zemljišta je ustanovljena u parku u Smederevu u avgustu za parove elemenata Cr-Cr Z ($r = 0.883^*$), Mn-Mn Z ($r = 0.926^*$) i Zn-Zn Z ($r = 0.924^*$). Sa druge strane, negativne korelacije su utvrđene za Al-Al Z ($r = -0.947^*$) i B-B Z ($r = -0.936^*$). U oktobru, statistički značajne negativne korelacije su utvrđene za Pb-Pb Z ($r = -0.931^*$) u uzorcima kore iz Smedereva i za Cr-Cr Z ($r = -0.931^*$) u uzorcima kore iz Obrenovca.

A. hippocastanum je pokazao najveći broj statistički značajnih korelacija u sadržaju elemenata u kori i zemljištu. U junu u Pančevu je utvrđena značajna negativna korelacija između Sr u kori i Sr u zemljištu ($r=-0.979^{**}$) sa jedne strane, dok je sa druge strane ona bila pozitivna za isti element ($r=0.915^*$) na kontrolnom staništu u avgustu. Negativna korelacija je utvrđena za Cu-Cu Z ($r=-0.879^*$) u Smederevu u oktobru, u Beogradu za Mn-Mn Z ($r=0.896^*$) i Sr-Sr Z ($r=-0.928^*$), dok je na kontrolnom staništu utvrđena za Fe-Fe Z ($r=0.915^*$) i Pb-Pb Z ($r=0.941^*$).

Kada je reč o kori *P. acerifolia*, ustanovljene su značajne korelacije za Sr-Sr Z ($r=-0.874^*$) u parku u Beogradu i za Cu-Cu Z ($r=0.870^*$) na kontrolnom staništu u junu. U avgustu su utvrđene značajne negativne korelacije za B-B Z ($r=-0.936^*$) u parku u Smederevu, odnosno Beogradu za Cr-Cr Z ($r=-0.995^*$) i Sr-Sr Z ($r=-0.914^*$). U oktobru su statistički značajne negativne korelacije uočene za Sr-Sr Z ($r=-0.915^*$) u uzorcima iz Pančeva, kao i za Mn-Mn Z ($r=-0.925^*$) u uzorcima sa kontrolnog staništa, dok su pozitivno korelisani Zn-Zn Z ($r=0.967^{**}$) u kori *P. acerifolia* i u zemljištu utvrđeni za lokalitet Beograd.

5.2.5 Prostorna i vremenska distribucija sadržaja hemijskih elemenata u četinama/listovima drvenastih vrsta biljaka

Analizirana je prostorna i vremenska distribucija sadržaja hemijskih elemenata (Al, As, B, Cd, Cr, Cu, Fe, Li, Mn, Ni, Pb, Se, Sr i Zn) u listovima i četinama ispitivanih vrsta i rezultati su prikazani u Tabeli 21. Takođe su određene i razlike u koncentraciji elemenata između vrsta na svakom staništu po sezonskom preseku. Sadržaj As, Cd, Li i Se je bio ispod detekcionog limita, dok su određene koncentracije Cr, Ni i Pb detektovane u jednom broju uzoraka sa različitih lokaliteta u nekom od sezonskih preseka, zbog čega rezultati merenja za navedene elemente nisu bili predmet detaljnije statističke analize. Za sve ostale elemente, trofaktorska analiza varijanski (factorial ANOVA) je pokazala da sva tri analizirana faktora varijabilnosti (lokalitet, vrsta i sezona) imaju značajan uticaj na razlike ($p<0.001$) u koncentraciji metala, ali da dominantnu ulogu ima vrsta izuzev u slučaju Cu i Zn na čiji sadržaj u listovima drveća veći uticaj ima lokalitet (Tabela 21).

Tabela 21. Uticaj vrste, lokaliteta i sezone na razlike u sadržaju hemijskih elemenata u listovima/četinama ispitivanih biljaka (p-stepen značajnosti: *p<0.05, **p<0.001, ***p<0.001, ns–nema značajnih razlika)

Hemijski element		Vrsta	Lokalitet	Sezona	Vrsta* Lokalitet	Vrsta* Sezona	Lokalitet* Sezona	Vrsta* Lokalitet* Sezona
Al	F	31298.2	2550.59	195.94	116.81	157..82	130.57	116.49
	p	***	***	***	***	***	***	***
B	F	34239.5	15420.2	24394.9	7561.8	3088.2	1473.9	560.6
	p	***	***	***	***	***	***	***
Cu	F	2109.43	2985.04	1066.51	775.89	72.39	226.93	108.43
	p	***	***	***	***	***	***	***
Fe	F	30599.8	7085.1	13184.1	2680.7	1556.8	801.9	583.7
	p	***	***	***	***	***	***	***
Mn	F	7910.3	2419.4	4274.1	1837.0	762.4	173.0	207.0
	p	***	***	***	***	***	***	***
Sr	F	18216.4	4884.4	93.3	1467.3	243.9	100.7	35.9
	p	***	***	***	***	***	***	***
Zn	F	313.81	695.45	681.53	105.86	35.88	48.74	16.20
	p	***	***	***	***	***	***	***

Sadržaj Al u četinama vrste *P. nigra* se kretao u veoma širokom opsegu, od minimalnih 15.96 mg/kg u jednogodišnjim četinama izmerenih u parku u Pančevu u junu, do maksimalnih 182.38 mg/kg u dvogodišnjim četinama u parku u Obrenovcu u oktobru (Tabela 22). U proseku, dvogodišnje četine imaju značajno veći sadržaj ovog elementa od jednogodišnjih. Pored toga uočava se i sezonski trend povećanja koncentracija ovog elementa od juna do oktobra kod svih uzoraka izuzev uzoraka dvogodišnjih četina iz parka u Pančevu (Tabela 22). Na svim lokalitetima su utvrđene značajne razlike (p<0.001) u sadržaju Al u uzorcima ove vrste iz parkova u odnosu na kontrolno stanište. Izuzetak su jednogodišnje četine u Beogradu u junu, kao i Obrenovcu u avgustu (ns), odnosno dvogodišnje u Smederevu i Obrenovcu u avgustu, tj. Beogradu u oktobru (ns).

U listovima vrste *A. hippocastanum* je izmeren prosečno dvostruko veći sadržaj Al u poređenju sa *P. nigra* (Tabela 23). I u slučaju ove vrste, postoji jasna pravilnost u sezonskom povećanju koncentracija Al u listovima sa jednim izuzetkom u parku u Smederevu gde su maksimalne vrednosti izmerene u avgustu 208.47 mg/kg (Tabela 22). Sadržaj Al u listovima vrste *A. hippocastanum* se kretao u veoma širokom opsegu, od minimalnih 74.54 mg/kg izmerenih u junu u uzorcima iz parka u Obrenovcu, do maksimalnih 584.34 mg/kg u oktobru u parku Pionir u Beogradu. Tokom cele

vegetacijske sezone su postojale značajne razlike ($p < 0.001$) u sadržaju ovog elementa u uzorcima listova *A. hippocastanum* u odnosu na kontrolno stanište (Tabela 22).

U listovima vrste *P. acerifolia* je takođe izmeren prosečno veći sadržaj Al u poređenju sa *P. nigra* i manji u poređenju sa *A. hippocastanum* (Tabela 23). Kao i kod druge dve vrste, postoji jasna pravilnost u sezonskom povećanju koncentracija Al u listovima sa izuzetkom uzoraka iz parka u Obrenovcu i kontrolnog staništa gde su maksimalne vrednosti izmerene u avgustu (Tabela 22). Sadržaj Al u listovima vrste *P. acerifolia* se kretao u širokom opsegu, od minimalnih 46.18 mg/kg izmerenih u junu u uzorcima iz parka u Obrenovcu, do maksimalnih 164.00 mg/kg u oktobru u parku u Smederevu (Tabela 22). Razlike u sadržaju Al u listovima ove vrste u odnosu na iste sa kontrolnog staništa uglavnom nema (ns) sa izuzetkom parka u Beogradu ($p < 0.001$) u avgustu, odnosno parkova u Smederevu ($p < 0.01$) i Obrenovca ($p < 0.001$) u oktobru (Tabela 22). Na nivou lokaliteta, prosečno najviše koncentracije Al u četinama vrste *P. nigra* su izmerene u parkovima u Smederevu i Beogradu, tj. u Pančevu i Beogradu u listovima *A. hippocastanum*. U listovima vrste *P. acerifolia* se ne izdvaja niti jedan od lokaliteta (Tabela 22).

Sadržaj B u listovima i četinama svih ispitivanih vrsta je slično kao i kod kore, pokazao jasnu rastuću dinamiku tokom vegetacijske sezone. U jednogodišnjim četinama *P. nigra*, sadržaj B se kretao u opsegu od 7.15 mg/kg izmerenih u uzorcima sa kontrolnog staništa do 50.87 mg/kg u uzorcima iz parka u Smederevu. U dvogodišnjim se kretao od 11.18 mg/kg u uzorcima sa kontrolnog staništa do 65.72 mg/kg u uzorcima iz parka u Beogradu (Tabela 24). Dvogodišnje četine su imale viši sadržaj B u odnosu na jednogodišnje. U četinama obe godine tokom cele sezone su utvrđene značajne razlike u koncentraciji B u odnosu na kontrolno stanište ($p < 0.001$) izuzev u junu kod jednogodišnjih četina i u oktobru kod dvogodišnjih četina iz parka u Obrenovcu (ns) (Tabela 24).

Kada je reč o *A. hippocastanum*, sadržaj B u listovima je značajno veći u poređenju sa četinama *P. nigra* (Tabela 25). Minimalne koncentracije ovog elementa su izmerene u listovima u Obrenovcu u junu (16.83 mg/kg), a maksimalne u Smederevu (264.05 mg/kg) u oktobru (Tabela 24). Sličan sadržaj B (ns) u listovima *A. hippocastanum* je izmeren na kontrolnom staništu i parkovima u Pančevu i Obrenovcu u

junu, dok su na svim ostalim lokalitetima utvrđene značajne razlike ($p < 0.001$) (Tabela 24).

Nešto veći sadržaj B u odnosu na *P. nigra* je izmeren u listovima vrste *P. acerifolia* (Tabela 25). Kod ove vrste postoji jasna rastuća sezonska distribucija u sadržaju B u listovima, od juna do oktobra pri čemu su minimalne koncentracije (23.27 mg/kg) izmerene u junu na kontrolnom staništu, a maksimalne (112.54 mg/kg) u oktobru u parku u Obrenovcu. Sličan sadržaj B (ns) sa listovima *P. acerifolia* sa kontrolnog staništa su imali uzorci *P. acerifolia* iz parka u Pančevu. Na svim ostalim lokalitetima su utvrđene značajne razlike ($p < 0.001$) (Tabela 24).

Upoređujući sadržaj B u četinama *P. nigra* različite starosti, *A. hippocastanum* i *P. acerifolia* po sezonskim presecima, uočljivo je da je on najmanji u jednogodišnjim četinama *P. nigra*. Povremeno je sadržaj B kod dvogodišnjih četina premašivao njegov sadržaj kod listopadnih vrsta u junu (Tabela 24). U ostalim slučajevima je veći sadržaj B utvrđen kod listopadnih vrsta, posebno u listovima *A. hippocastanum* iz parkova u Smederevu i Beogradu gde su izmerene toksične koncentracije (> 100 mg/kg), kao i u listovima *P. acerifolia* iz Obrenovca u oktobru (Tabela 24). Na nivou lokaliteta u četinama *P. nigra* i listovima *A. hippocastanum* po najvišim koncentracijama B u su se izdvojili Smederevo i Beograd, dok se u listovima *P. acerifolia* izdvojio park iz Obrenovca.

Sadržaj Cu u jednogodišnjim četinama *P. nigra* se kretao u uskom opsegu od samo 1.27 mg/kg izmerenih u uzorcima iz parka u Smederevu u avgustu do 5.56 mg/kg izmerenih u četinama sa kontrolnog staništa u junu (Tabela 26). Kod jednogodišnjih četina *P. nigra* je uočena opadajuća sezonska distribucija u koncentraciji ovog elementa od juna do oktobra. U dvogodišnjim četinama je sadržaj Cu bio još niži u poređenju sa jednogodišnjim, izuzev uzoraka sa kontrolnog staništa, i kretao se u nešto širem opsegu, od minimalnih 1.70 mg/kg izmerenih u uzorcima iz parka u Obrenovcu do maksimalnih 9.36 mg/kg izmerenih u uzorcima sa kontrolnog staništa u oktobru (Tabele 26, 27). Na nivou lokaliteta u četinama obe godine su najviše koncentracije Cu izmerene u uzorcima sa kontrolnog staništa. Sličan sadržaj Cu (ns) u odnosu na jednogodišnje četine sa kontrolnog staništa su izmerene tokom cele sezone u uzorcima iz Pančeva, i u parku u Obrenovcu i Beogradu u junu. Na svim ostalim lokalitetima su utvrđene značajne razlike ($p < 0.001$) (Tabela 26). Sa druge strane, sličan sadržaj (ns) u dvogodišnjim

četinama je izmeren u avgustu na svim lokalitetima u poređenju sa onim sa kontrolnog staništa, ali su u junu i oktobru svuda zabeležene značajne razlike ($p < 0.001$).

U listovima *A. hippocastanum*, koncentracija Cu je bila u opsegu od 2.49 mg/kg izmerenih u avgustu u parku u Smederevu do 23.51 mg/kg u junu u parku u Beogradu (Tabela 26). Slično kao i u četinama *P. nigra* najviše koncentracije Cu su izmerene u junu. Na nivou lokaliteta najviši sadržaj Cu je izmeren u parku Pionir u Beogradu, a najniži u parku iz Smedereva. Tokom cele sezone na svim lokalitetima su utvrđene značajne razlike ($p < 0.001$) u sadržaju Cu u poređenju sa listovima *A. hippocastanum* sa kontrolnog staništa, sa izuzetkom kestena u Beogradu u avgustu (ns) (Tabela 26).

I u listovima *P. acerifolia* je najviši sadržaj Cu izmeren u junu i kretao se u širokom opsegu, od minimalnih 1.47 mg/kg izmerenih u listovima iz parka u Smederevu u avgustu do 22.03 mg/kg izmerenih u uzorcima iz parka u Beogradu u junu. Sa druge strane, najniži sadržaj Cu je uglavnom izmeren u avgustu. Park Pionir u Beogradu se izdvojio kao lokalitet gde su izmerene najviše koncentracije Cu u celoj sezoni, dok su u parku u Smederevu izmerene najniže (Tabela 26).

Upoređujući sadržaj Cu u četinama *P. nigra*, listovima *A. hippocastanum* i *P. acerifolia* uočljivo je da na lokalitetima u Pančevu, Smederevu i Obrenovcu sve vrste imaju relativno ujednačen sadržaj tokom sva tri sezonska preseka (Tabela 27). Najveća razlika je utvrđena u parku Pionir u Beogradu gde su u listovima lišćarskih vrsta izmerene značajno veće koncentracije Cu u poređenju sa četinama *P. nigra*.

Kada je reč o sadržaju Fe, kod ispitivanih vrsta je uglavnom utvrđena rastuća sezonska distribucija ovog elementa, sa najnižim vrednostima izmerenim u junu, a najvišim u oktobru. Koncentracija Fe se u jednogodišnjim četinama *P. nigra* kretala u opsegu od 29.47 mg/kg u parku u Obrenovcu u junu do 152.2 mg/kg u parku u Smederevu u oktobru (Tabela 28). Dvogodišnje četine su imale značajno veći sadržaj ovog elementa od jednogodišnjih (Tabela 29), a najniži sadržaj je takođe izmeren u parku u Obrenovcu u junu 70.98 mg/kg, dok je najviši izmeren u oktobru u Smederevu 305 mg/kg. Na nivou lokaliteta u četinama *P. nigra* su najviše koncentracije Fe izmerene u uzorcima iz Smedereva tokom cele sezone, a najniže u proseku iz parka u Obrenovcu. U četinama *P. nigra* sa svih lokaliteta su utvrđene razlike ($p < 0.001$, $p < 0.01$) u sadržaju Fe u odnosu na kontrolno stanište, izuzev jednogodišnjih četina iz parkova u

Obrenovcu i Beogradu, i dvogodišnjih iz Smedereva u junu gde je sadržaj Fe bio sličan (ns) (Tabela 28).

Povećanje koncentracije Fe tokom sezone je utvrđeno i u listovima *A. hippocastanum* gde su najniže vrednosti izmerene u Obrenovcu (98.20 mg/kg) u junu, a najviše u parku Pionir u Beogradu u oktobru (1001.33 mg/kg) (Tabela 28). Listovi *A. hippocastanum* su se, u poređenju sa druge dve vrste, izdvojili po najvećem sadržaju Fe (Tabela 29). Sa druge strane, lokaliteti koji su se izdvojili po najvišim izmerenim koncentracijama Fe u listovima *A. hippocastanum* su Smederevo i Beograd. U listovima *A. hippocastanum* su tokom cele sezone utvrđene značajne razlike ($p < 0.001$) u sadržaju Fe u poređenju sa kontrolnim staništem.

Listovi *P. acerifolia* su u proseku imali sličan ili nešto viši sadržaj Fe kao i dvogodišnje četine *P. nigra* (Tabela 29). Koncentracija Fe se kretala u opsegu od 65.41 mg/kg izmerenih u junu u parku u Obrenovcu do 346.57 mg/kg u oktobru u parku u Smederevu (Tabela 28). Kao i u listovima *A. hippocastanum*, i u listovima *P. acerifolia* su najviše koncentracije utvrđene u parkovima u Smederevu i Beogradu, a najniže u parku u Obrenovcu. Sličan sadržaj (ns) Fe u listovima *P. acerifolia* je utvrđen u junu u Pančevu i Obrenovcu, u avgustu u Beogradu, i u oktobru u Pančevu u odnosu na kontrolno stanište. Na ostalim lokalitetima u sezoni su utvrđene značajne razlike ($p < 0.001$) (Tabela 28).

U jednogodišnjim četinama *P. nigra* je utvrđena jasna sezonska distribucija u povećanju sadržaja Mn, sa minimalnim koncentracijama koje su izmerene u Obrenovcu u junu (9.54 mg/kg), a maksimalnim u parku Pionir u oktobru 26.88 mg/kg (Tabela 30). Lokalitet koji se izdvojio po najnižim koncentracijama Mn u toku cele sezone je park u Obrenovcu, a po najvišim park Pionir u Beogradu. Sadržaj Mn u dvogodišnjim četina *P. nigra* je bio viši nego u jednogodišnjim (Tabela 31) i kretao se u opsegu od 11.62 mg/kg u junu u Obrenovcu do 45.32 mg/kg takođe izmerenih u junu u Beogradu (Tabela 30). Slično kao i kod jednogodišnjih četina, lokalitet koji se izdvojio po najvećem sadržaju Mn u dvogodišnjim četinama *P. nigra* je Beograd. Sličan sadržaj (ns) Mn u jednogodišnjim četinama tokom sva tri sezonska preseka je izmeren u Pančevu i Smederevu, u Obrenovcu u avgustu u poređenju sa kontrolnim staništem. Na drugim lokalitetima su zabeležene značajne razlike ($p < 0.001$) (Tabela 30).

Listopadne vrste su u proseku pokazale veću sposobnost akumulacije Mn u odnosu na četine *P. nigra* (Tabela 31). U listovima *A. hippocastanum*, koncentracija Mn se kretala u širokom opsegu od 15.61 mg/kg izmerenih u junu u parku u Obrenovcu do 98.93 mg/kg izmerenih u oktobru u parku u Beogradu, ali su najniže vrednosti Mn u sezoni izmerene u junu (Tabela 30). Isto kao i kod četina, lokalitet koji se izdvojio po najnižim koncentracijama Mn u toku cele sezone je park u Obrenovcu, a po najvišim parkovi u Beogradu i Pančevu. U listovima *A. hippocastanum* iz Smedereva u junu i avgustu, kao i iz Obrenovca u oktobru su utvrđene slične koncentracije (ns) Mn u odnosu na kontrolno stanište, dok su na svim ostalim lokalitetima zabeležene značajne razlike ($p < 0.001$) (Tabela 30).

Kada je reč o listovima *P. acerifolia*, zabeležena je jasna rastuća sezonska distribucija Mn, sa najnižim vrednostima izmerenim u junu (14.00 mg/kg park Pionir), a najvišim u oktobru (76.91 mg/kg u parku u Pančevu, Tabela 30). Na nivou lokaliteta najniže koncentracije Mn u toku cele sezone su izmerene u Smederevu, a najviše u Pančevu. Listovi *P. acerifolia* sa svih lokaliteta su tokom cele sezone imali značajne razlike ($p < 0.001$) u sadržaju Mn u poređenju sa kontrolnim staništem (Tabela 30).

Na osnovu sadržaja Mn u listovima *A. hippocastanum* i *P. acerifolia* nije moguće ustanoviti pravilan trend promena ovog elementa od strane bilo koje vrste, jer je na količinu akumuliranog Mn kod listopadnih vrsta uticao pre svega lokalitet uzorkovanja (Tabela 31).

Jednogodišnje i dvogodišnje četine *P. nigra* su pokazale opadajuću sezonsku distribuciju u sadržaju Sr od juna do oktobra. Koncentracije Sr u jednogodišnjim četinama su se kretale od 4.74 mg/kg izmerenih u oktobru u parku u Obrenovcu do 12.78 mg/kg izmerenih u junu u parku Pionir u Beogradu, dok su u dvogodišnjim četinama bile od 7.22 mg/kg u oktobru u Obrenovcu do 22.75 mg/kg u junu u Beogradu (Tabela 32). U proseku, dvogodišnje četine su imale veći sadržaj Sr od jednogodišnjih (Tabela 33). Na nivou lokaliteta, park Pionir u Beogradu se izdvojio po najvišim koncentracijama Sr u toku cele sezone. U jednogodišnjim četinama, razlike u sposobnosti akumulacije Sr su utvrđene u Pančevu ($p < 0.05$) u junu, u Obrenovcu ($p < 0.05$) u avgustu i oktobru, kao i u Beogradu ($p < 0.01$) u oktobru. Na svim ostalim lokalitetima sadržaj Sr je bio sličan (ns) u poređenju sa kontrolnim staništem (Tabela 32). U dvogodišnjim četinama, razlike u sadržaju Sr su zabeležene u junu u Smederevu

($p < 0.01$) i Beogradu ($p < 0.001$), u avgustu u Pančevu, Beogradu ($p < 0.001$) i Smederevu ($p < 0.05$) i u oktobru u Beogradu ($p < 0.001$) u poređenju sa kontrolnim staništem. Na ostalim lokalitetima sadržaj Sr je bio sličan (ns) (Tabela 32).

U listovima *A. hippocastanum* je najviši sadržaj Sr uglavnom izmeren u toku najsušnijeg perioda godine - u avgustu, a njegova koncentracija je srazmerno veća u poređenju sa istom kod *P. nigra* (Tabele 32, 33) i na svim lokalitetima u toku sezone je bila toksična (> 30 mg/kg). Sadržaj Sr se kretao u opsegu od 27.82 mg/kg izmerenih u uzorcima parka u Obrenovcu u oktobru do 107.56 mg/kg u uzorcima iz parka u Beogradu takođe u oktobru. I u ovom slučaju lokalitet koji se izdvojio po najvišim koncentracijama Sr u toku sezone je park Pionir u Beogradu, dok su najniže izmerene u parku u Obrenovcu. Na svim lokalitetima tokom cele sezone su uvrđene značajne razlike ($p < 0.001$) u sadržaju Sr u odnosu na kontrolno stanište, izuzev parka u Smederevu u junu gde je bio sličan (ns).

Nasuprot četinama *P. nigra*, listovi *P. acerifolia* su pokazali rastuću sezonsku distribuciju u sadržaju Sr, gde su najviše koncentracije izmerene u oktobru. Sadržaj Sr je varirao u širokom opsegu od 26.87 mg/kg u junu u parku u Smederevu do 118.55 mg/kg u parku u Beogradu u oktobru (Tabela 32). Slično kao i u listovima *A. hippocastanum*, lokalitet koji se izdvojio po najvišim izmerenim koncentracijama Sr je park Pionir u Beogradu, dok su najniže izmerene u parku u Smederevu gde jedino nisu zabeležene toksične koncentracije. U listovima *P. acerifolia* tokom cele sezone su utvrđene značajne razlike ($p < 0.001$) u sadržaju Sr u poređenju sa kontrolnim staništem (Tabela 32). Na osnovu sadržaja Sr u listovima *A. hippocastanum* i *P. acerifolia* nije moguće doneti zaključak o potencijalno efikasnijem akumuliranju ovog elementa od strane bilo koje vrste, jer je efikasnost akumulacije Sr zavisila od lokaliteta uzorkovanja, ali i od sezonskog preseka (Tabela 33).

Sadržaj Zn u četinama i listovima svih ispitivanih vrsta je uglavnom pokazao rastuću distribuciju tokom vegetacijske sezone, sa najnižim vrednostima izmerenim u junu, a najvišim u oktobru. Opseg kretanja sadržaja Zn u jednogodišnjim četinama *P. nigra* je bio od 14.69 mg/kg izmerenih u junu u Smederevu do 32.52 mg/kg izmerenih u oktobru na kontrolnom staništu. U dvogodišnjim četinama je opseg bio od 9.46 mg/kg u junu takođe u Smederevu do 36.86 mg/kg u oktobru u Beogradu (Tabela 34). U proseku, jednogodišnje četine imaju veći sadržaj Zn od jednogodišnjih (Tabela 35). Na

nivou lokaliteta, po najvišim koncentracijama Zn u jednogodišnjim četinama se izdvojilo kontrolno stanište u Beogradu, a u dvogodišnjim četinama park Pionir u Beogradu. U jednogodišnjim četinama sličan sadržaj (ns) Zn je utvrđen u parkovima u Pančevu i Beogradu u junu, Obrenovcu i Beogradu u avgustu, kao i Smederevu i Beogradu u oktobru u poređenju sa kontrolnim staništem. Na ostalim lokalitetima tokom sezone su zabeležene značajne razlike ($p < 0.001$) (Tabela 34). U dvogodišnjim četinama sličan sadržaj (ns) Zn onom na kontrolnom lokalitetu je zabeležen u Pančevu u junu, Smederevu i Obrenovcu u avgustu, odnosno Pančevu i Obrenovcu u oktobru. Na ostalim lokalitetima su utvrđene razlike ($p < 0.05$, $p < 0.001$) (Tabela 34).

Listovi *A. hippocastanum* su imali nešto niži sadržaj Zn u poređenju sa jednogodišnjim četinama, izuzev parka u Beogradu, a sličan dvogodišnjim četinama *P. nigra* (Tabela 35). Sadržaj Zn se kretao u opsegu od 10.00 mg/kg izmerenih u junu u Smederevu do 56.42 mg/kg izmerenih u oktobru u Beogradu (Tabela 34). Slično kao i u dvogodišnjim četinama, lokalitet koji se izdvojio po najvećem sadržaju Zn u listovima je Beograd. U avgustu je sadržaj Zn u listovima *A. hippocastanum* bio sličan (ns) na svim lokalitetima, izuzev parka u Beogradu ($p < 0.001$), kao i u Pančevu u oktobru (ns) u poređenju sa kontrolnim staništem. Na ostalim lokalitetima su u junu i oktobru utvrđene značajne razlike ($p < 0.001$).

Listovi *P. acerifolia* su u proseku imali najniži sadržaj Zn u odnosu na četine i listove (Tabela 35), a opseg kretanja je bio od 6.59 mg/kg u parku u Pančevu u avgustu do 30.60 mg/kg u parku Beograd u oktobru (Tabela 34), gde su ujedno tokom cele sezone izmerene najviše koncentracije. U odnosu na listove *P. acerifolia* sa kontrolnog staništa, u uzorcima iz Obrenovca i Beograda u junu i avgustu, tj. u Smederevu i Obrenovcu u oktobru nisu utvrđene razlike (ns) u sadržaju Zn. Na ostalim lokalitetima su uočene značajne razlike ($p < 0.001$) (Tabela 34).

Sadržaj As, Cd, Li i Se u četinama i listovima ispitivanih drvenastih vrsta tokom cele vegetacijske sezone je bio ispod nivoa detekcije aparata. Hrom nije detektovan ni u jednom uzorku u junu, ali je izmeren u uzorku jednogodišnjih četina *P. nigra* iz parka u Beogradu, u uzorku dvogodišnjih četina na svim lokalitetima izuzev parka u Obrenovcu, kao i uzorcima *P. acerifolia* iz parkova u Smederevu, Beogradu i na kontrolnom staništu u avgustu. U oktobru Cr je detektovan u svim uzorcima na svim lokalitetima. Nikl je u niskim koncentracijama (1.04-2.90 mg/kg) izmeren u uzorcima

svih vrsta samo u junu, izuzev u uzorcima *P. acerifolia* iz parkova u Smederevu i Obrenovcu. Prisustvo Pb takođe u niskim koncentracijama je detektovano samo u uzorcima iz juna i to u četinama *P. nigra*, u opsegu od 0.78-1.78 mg/kg (Tabela 36).

Tabela 22. Sadržaj Al u četinama i listovima ispitivanih vrsta u Pančevu (P), Smederevu (S), Obrenovcu (O), Beogradu (B) i na kontrolnom staništu (K) tokom vegetacijske sezone (ANOVA, n=5, *p<0.05, **p<0.001, ***p<0.001, ns – nema značajnih razlika)

<i>Pinus nigra</i> jednogodišnje četine																		
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
P	15.96 (1.34)	/	***	ns	***	***	34.74 (1.55)	/	***	***	***	**	53.40 (1.24)	/	***	***	***	***
S	37.15 (1.68)	***	/	***	***	***	48.10 (1.04)	***	/	***	ns	***	76.70 (0.79)	***	/	ns	***	***
O	16.48 (0.92)	ns	***	/	***	***	26.88 (2.39)	***	***	/	***	ns	74.80 (1.42)	***	ns	/	***	***
B	23.48 (2.10)	***	***	***	/	ns	50.58 (1.24)	***	ns	***	/	***	86.26 (3.37)	***	***	***	/	***
K	22.82 (1.86)	***	***	***	ns	/	29.04 (1.35)	**	***	ns	***	/	107.00 (1.99)	***	***	***	***	/
<i>Pinus nigra</i> dvogodišnje četine																		
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
P	65.16 (2.01)	/	ns	***	*	***	143.59 (1.46)	/	***	***	***	***	126.04 (2.82)	/	***	***	***	***
S	68.92 (0.30)	ns	/	ns	ns	***	74.75 (2.38)	***	/	ns	***	ns	152.54 (1.42)	***	/	***	***	***
O	71.22 (0.16)	***	ns	/	ns	***	73.47 (2.97)	***	ns	/	***	ns	182.38 (3.53)	***	***	/	***	***
B	69.99 (0.04)	*	ns	ns	/	***	86.72 (1.44)	***	***	***	/	***	161.66 (3.09)	***	***	***	/	ns
K	81.88 (0.08)	***	***	***	***	/	76.48 (2.34)	***	ns	ns	***	/	165.12 (1.72)	***	***	***	ns	/
<i>Aesculus hippocastanum</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
P	199.29 (0.29)	/	ns	***	***	***	294.97 (2.48)	/	***	***	***	***	302.47 (3.71)	/	***	***	***	***
S	199.96 (0.58)	ns	/	***	***	***	208.47 (1.53)	***	/	***	**	***	194.16 (1.91)	***	/	***	***	***
O	74.54 (0.12)	***	***	/	ns	***	145.85 (1.71)	***	***	/	***	***	205.91 (1.94)	***	***	/	***	***
B	74.76 (0.07)	***	***	ns	/	***	213.96 (1.55)	***	**	***	/	***	584.34 (1.08)	***	***	***	/	***
K	104.33 (0.10)	***	***	***	***	/	133.48 (0.84)	***	***	***	***	/	225.66 (1.35)	***	***	***	***	/
<i>Platanus acerifolia</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
P	78.67 (17.55)	/	ns	*	ns	ns	127.99 (9.80)	/	ns	ns	ns	ns	157.50 (7.45)	/	ns	***	ns	ns
S	80.75 (6.96)	ns	/	**	ns	ns	125.18 (11.04)	ns	/	ns	ns	ns	164.00 (15.20)	ns	/	***	ns	**
O	46.18 (3.14)	*	**	/	***	ns	102.16 (7.98)	ns	ns	/	ns	***	83.65 (14.49)	***	***	/	***	***
B	90.07 (12.88)	ns	ns	***	/	ns	116.08 (16.58)	ns	ns	ns	/	ns	150.60 (18.99)	ns	ns	***	/	ns
K	66.52 (3.73)	ns	ns	ns	ns	/	141.78 (6.54)	ns	ns	***	ns	/	127.63 (20.60)	ns	**	***	ns	/

Tabela 23. Razlike u sadržaju Al u jednogodišnjim četinama *P. nigra* (P(I)), dvogodišnjim četinama *P. nigra* (P(II)), *A. hippocastanum* (A.h) i *P. acerifolia* (P.a) u Pančevu, Smederevu, Obrenovcu, Beogradu i na kontrolnom staništu tokom vegetacijske sezone (ANOVA, n=5, *p<0.05, **p<0.001, ***p<0.001, ns – nema značajnih razlika)

JUN																										
Al [mg/kg]		Pančevo					Smederevo					Obrenovac					Beograd					Kontrola				
Vrsta	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	
P(I)	15.96 (1.34)	/	***	***	***	37.15 (1.68)	/	***	***	***	16.48 (0.92)	/	***	***	ns	23.48 (2.10)	/	***	***	***	22.82 (1.86)	/	***	***	***	
P(II)	65.16 (2.01)	***	/	***	ns	68.92 (0.30)	***	/	***	ns	71.22 (0.16)	***	/	ns	ns	69.99 (0.04)	***	/	*	ns	81.88 (0.08)	***	/	***	ns	
A. h	199.29 (0.29)	***	***	/	***	199.96 (0.58)	***	***	/	***	74.54 (0.12)	***	ns	/	ns	74.76 (0.07)	***	*	/	ns	104.33 (0.10)	***	***	/	**	
P. a	78.67 (17.55)	***	ns	***	/	80.75 (6.96)	***	ns	***	/	46.18 (3.14)	ns	ns	ns	/	90.07 (12.88)	***	ns	ns	/	66.52 (3.73)	***	ns	**	/	
AVGUST																										
Al [mg/kg]		Pančevo					Smederevo					Obrenovac					Beograd					Kontrola				
Vrsta	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	
P(I)	34.74 (1.55)	/	***	***	***	48.10 (1.04)	/	***	***	***	26.88 (2.39)	/	***	***	***	50.58 (1.24)	/	***	***	***	29.04 (1.35)	/	***	***	***	
P(II)	143.59 (1.46)	***	/	***	ns	74.75 (2.38)	***	/	***	***	73.47 (2.97)	***	/	***	*	86.72 (1.44)	***	/	***	ns	76.48 (2.34)	***	/	***	***	
A. h	294.97 (2.48)	***	***	/	***	208.47 (1.53)	***	***	/	***	145.85 (1.71)	***	***	/	***	213.96 (1.55)	***	***	/	***	133.48 (0.84)	***	***	/	ns	
P. a	127.99 (9.80)	***	ns	***	/	125.18 (11.04)	***	***	***	/	102.16 (7.98)	***	*	***	/	116.08 (16.58)	***	ns	***	/	141.78 (6.54)	***	***	ns	/	
OKTOBAR																										
Al [mg/kg]		Pančevo					Smederevo					Obrenovac					Beograd					Kontrola				
Vrsta	M(SD)	P(I)	P(II)	A.	P.a	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	
P(I)	53.40 (1.24)	/	***	***	***	76.70 (0.79)	/	***	***	***	74.80 (1.42)	/	***	***	ns	86.26 (3.37)	/	***	***	***	107.00 (1.99)	/	***	***	ns	
P(II)	126.04 (2.82)	***	/	***	ns	152.54 (1.42)	***	/	***	ns	182.38 (3.53)	***	/	***	***	161.66 (3.09)	***	/	***	ns	165.12 (1.72)	***	/	***	***	
A. h	302.47 (3.71)	***	***	/	***	194.16 (1.91)	***	***	***	ns	205.91 (1.94)	***	***	/	***	584.34 (1.08)	***	***	/	***	225.66 (1.35)	***	***	/	***	
P. a	157.50 (7.45)	***	ns	***	/	164.00 (15.20)	***	ns	ns	/	83.65 (14.49)	ns	***	***	/	150.60 (18.99)	***	ns	***	/	127.63 (20.60)	ns	***	***	/	

Tabela 24. Sadržaj B u četinama i listovima ispitivanih vrsta u Pančevu (P), Smederevu (S), Obrenovcu (O), Beogradu (B) i na kontrolnom staništu (K) tokom vegetacijske sezone (ANOVA, n=5, *p<0.05, **p<0.001, ***p<0.001, ns – nema značajnih razlika)

<i>Pinus nigra</i> jednogodišnje četine																		
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
P	13.70 (0.01)	/	ns	**	ns	***	17.49 (0.35)	/	***	***	***	***	22.02 (0.35)	/	***	***	***	***
S	11.21 (0.31)	ns	/	ns	ns	**	26.98 (0.19)	***	/	***	***	***	50.87 (0.56)	***	/	***	***	***
O	9.71 (0.43)	**	ns	/	***	ns	24.06 (0.31)	***	***	/	**	***	38.51 (0.71)	***	***	/	***	***
B	14.10 (0.43)	ns	ns	***	/	***	22.37 (0.30)	***	***	**	/	***	33.91 (0.45)	***	***	***	/	***
K	7.15 (0.41)	***	**	ns	***	/	14.98 (0.25)	***	***	***	***	/	26.19 (0.28)	***	***	***	***	/
<i>Pinus nigra</i> dvogodišnje četine																		
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
P	19.54 (0.20)	/	ns	ns	***	***	28.87 (0.68)	/	***	***	***	***	29.08 (0.46)	/	***	***	***	***
S	20.28 (0.80)	ns	/	ns	***	***	42.75 (1.07)	***	/	ns	***	***	61.76 (0.70)	***	/	***	***	***
O	19.25 (1.75)	ns	ns	/	***	***	42.41 (0.50)	***	ns	/	***	***	35.52 (0.50)	***	***	/	***	ns
B	46.80 (0.66)	***	***	***	/	***	60.20 (0.62)	***	***	***	/	***	65.72 (0.60)	***	***	***	/	***
K	11.18 (0.19)	***	***	***	***	/	22.25 (0.42)	***	***	***	***	/	36.81 (0.39)	***	***	ns	***	/
<i>Aesculus hippocastanum</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
P	21.55 (0.86)	/	***	***	***	ns	31.71 (0.88)	/	***	***	***	***	43.30 (0.18)	/	***	***	***	***
S	104.48 (1.18)	***	/	***	***	***	162.67 (0.57)	***	/	***	***	***	264.05 (1.32)	***	/	***	***	***
O	16.83 (0.67)	***	***	/	***	ns	59.26 (0.84)	***	***	/	***	***	64.89 (0.45)	***	***	/	***	***
B	51.70 (0.92)	***	***	***	/	***	157.27 (0.29)	***	***	***	/	***	171.50 (0.85)	***	***	***	/	***
K	18.66 (0.72)	ns	***	ns	***	/	50.37 (0.29)	***	***	***	***	/	89.18 (0.39)	***	***	***	***	/
<i>Platanus acerifolia</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
P	30.23 (3.05)	/	***	***	***	***	39.45 (2.64)	/	***	***	***	ns	47.48 (1.50)	/	***	***	***	***
S	48.58 (1.37)	***	/	***	***	***	63.38 (0.77)	***	/	***	***	***	95.88 (5.18)	***	/	***	***	***
O	67.05 (1.88)	***	***	/	***	***	88.15 (0.96)	***	***	/	***	***	112.54 (3.37)	***	***	/	***	***
B	41.48 (1.48)	***	***	***	/	***	54.68 (2.21)	***	***	***	/	***	71.92 (0.45)	***	***	***	/	***
K	23.27 (1.53)	***	***	***	***	/	42.34 (0.37)	ns	***	***	***	/	66.32 (3.65)	***	***	***	***	/

Tabela 25. Razlike u sadržaju B u jednogodišnjim četinama *P. nigra* (P(I)), dvogodišnjim četinama *P. nigra* (P(II)), *A. hippocastanum* (A.h) i *P. acerifolia* (P.a) u Pančevu, Smederevu, Obrenovcu, Beogradu i na kontrolnom staništu tokom vegetacijske sezone (ANOVA, n=5, *p<0.05, **p<0.001, ***p<0.001, ns – nema značajnih razlika)

JUN																										
B [mg/kg]		Pančevo					Smederevo					Obrenovac					Beograd					Kontrola				
Vrsta	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	
P(I)	13.70 (0.01)	/	***	***	***	11.21 (0.31)	/	***	***	***	9.71 (0.43)	/	***	***	***	14.10 (0.43)	/	***	***	***	7.15 (0.41)	/	**	***	***	
P(II)	19.54 (0.20)	***	/	ns	***	20.28 (0.80)	***	/	***	***	19.25 (1.75)	***	/	ns	***	46.80 (0.66)	***	/	***	***	11.18 (0.19)	**	/	***	***	
A. h	21.55 (0.86)	***	ns	/	***	104.48 (1.18)	***	***	/	***	16.83 (0.67)	***	ns	/	***	51.70 (0.92)	***	***	/	***	18.66 (0.72)	***	***	/	***	
P. a	30.23 (3.05)	***	***	***	/	48.58 (1.37)	***	***	***	/	67.05 (1.88)	***	***	***	/	41.48 (1.48)	***	***	***	/	23.27 (1.53)	***	***	***	/	
AVGUST																										
B [mg/kg]		Pančevo					Smederevo					Obrenovac					Beograd					Kontrola				
Vrsta	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	
P(I)	17.49 (0.35)	/	***	***	***	26.98 (0.19)	/	***	***	***	24.06 (0.31)	/	***	***	***	22.37 (0.30)	/	***	***	***	14.98 (0.25)	/	***	***	***	
P(II)	28.87 (0.68)	***	/	***	***	42.75 (1.07)	***	/	***	***	42.41 (0.50)	***	/	***	***	60.20 (0.62)	***	/	***	***	22.25 (0.42)	***	/	***	***	
A. h	31.71 (0.88)	***	***	/	***	162.67 (0.57)	***	***	/	***	59.26 (0.84)	***	***	/	***	157.27 (0.29)	***	***	/	***	50.37 (0.29)	***	***	/	***	
P. a	39.45 (2.64)	***	***	***	/	63.38 (0.77)	***	***	***	/	88.15 (0.96)	***	***	***	/	54.68 (2.21)	***	***	***	/	42.34 (0.37)	***	***	***	/	
OKTOBAR																										
B [mg/kg]		Pančevo					Smederevo					Obrenovac					Beograd					Kontrola				
Vrsta	M(SD)	P(I)	P(II)	A.	P.a	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	
P(I)	22.02 (0.35)	/	***	***	***	50.87 (0.56)	/	***	***	***	38.51 (0.71)	/	***	***	***	33.91 (0.45)	/	***	***	***	26.19 (0.28)	/	***	***	***	
P(II)	29.08 (0.46)	***	/	***	***	61.76 (0.70)	***	/	***	***	35.52 (0.50)	***	/	***	***	65.72 (0.60)	***	/	***	***	36.81 (0.39)	***	/	***	***	
A. h	43.30 (0.18)	***	***	/	**	264.05 (1.32)	***	***	/	***	64.89 (0.45)	***	***	/	***	171.50 (0.85)	***	***	/	***	89.18 (0.39)	***	***	/	***	
P. a	47.48 (1.50)	***	***	**	/	95.88 (5.18)	***	***	***	/	112.54 (3.37)	***	***	***	/	71.92 (0.45)	***	***	***	/	66.32 (3.65)	***	***	***	/	

Tabela 26. Sadržaj Cu u četinama i listovima ispitivanih vrsta u Pančevu (P), Smederevu (S), Obrenovcu (O), Beogradu (B) i na kontrolnom staništu (K) tokom vegetacijske sezone (ANOVA, n=5, *p<0.05, **p<0.001, ***p<0.001, ns – nema značajnih razlika)

<i>Pinus nigra</i> jednogodišnje četine																		
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
P	4.91 (0.14)	/	ns	ns	ns	ns	4.47 (0.24)	/	***	*	***	ns	3.68 (0.16)	/	ns	***	ns	ns
S	4.09 (0.53)	ns	/	**	ns	***	1.27 (0.31)	***	/	***	***	***	2.86 (0.37)	ns	/	ns	ns	***
O	5.38 (0.37)	ns	**	/	ns	ns	3.28 (0.69)	*	***	/	ns	***	2.08 (0.25)	***	ns	/	ns	***
B	5.18 (0.23)	ns	ns	ns	/	ns	3.05 (0.21)	***	***	ns	/	***	3.07 (0.13)	ns	ns	ns	/	***
K	5.56 (0.42)	ns	***	ns	ns	/	4.92 (0.36)	ns	***	***	***	/	4.62 (0.41)	ns	***	***	***	/
<i>Pinus nigra</i> dvogodišnje četine																		
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
P	3.12 (0.11)	/	ns	ns	ns	***	2.56 (0.33)	/	ns	ns	ns	ns	3.09 (0.12)	/	ns	***	ns	***
S	3.01 (0.77)	ns	/	ns	ns	***	1.97 (0.62)	ns	/	ns	ns	ns	2.49 (0.14)	ns	/	ns	ns	***
O	3.98 (0.13)	ns	ns	/	ns	***	1.87 (0.17)	ns	ns	/	ns	ns	1.70 (0.18)	***	ns	/	***	***
B	3.64 (0.27)	ns	ns	ns	/	***	2.72 (0.25)	ns	ns	ns	/	ns	3.18 (0.14)	ns	ns	***	/	***
K	7.96 (0.89)	***	***	***	***	/	2.24 (0.10)	ns	ns	ns	ns	/	9.36 (0.96)	***	***	***	***	/
<i>Aesculus hippocastanum</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
P	5.58 (0.18)	/	***	***	***	***	5.16 (0.57)	/	***	***	***	***	5.28 (0.29)	/	***	ns	***	***
S	3.10 (0.27)	***	/	***	***	***	2.49 (0.25)	***	/	ns	***	***	2.92 (0.27)	***	/	***	***	***
O	6.98 (0.59)	***	***	/	***	***	3.10 (0.51)	***	ns	/	***	***	4.80 (0.52)	ns	***	/	***	***
B	23.51 (0.89)	***	***	***	/	***	9.27 (0.15)	***	***	***	/	ns	15.33 (0.32)	***	***	***	/	***
K	10.78 (0.43)	***	***	***	***	/	9.82 (0.35)	***	***	***	ns	/	10.58 (0.49)	***	***	***	***	/
<i>Platanus acerifolia</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
P	4.99 (0.21)	/	***	ns	***	***	4.87 (0.43)	/	***	**	***	***	4.39 (0.37)	/	ns	ns	***	**
S	2.14 (0.15)	***	/	***	***	***	1.47 (0.19)	***	/	***	***	***	3.38 (0.35)	ns	/	ns	***	***
O	4.82 (0.42)	ns	***	/	***	***	3.59 (0.48)	**	***	/	***	***	3.82 (0.21)	ns	ns	/	***	***
B	22.03 (0.36)	***	***	***	/	***	11.02 (0.54)	***	***	***	/	***	13.49 (0.35)	***	***	***	/	***
K	8.84 (0.26)	***	***	***	***	/	7.91 (0.35)	***	***	***	***	/	5.59 (0.26)	**	***	***	***	/

Tabela 27. Razlike u sadržaju Cu u jednogodišnjim četinama *P. nigra* (P(I)), dvogodišnjim četinama *P. nigra* (P(II)), *A. hippocastanum* (A.h) i *P. acerifolia* (P.a) u Pančevu, Smederevu, Obrenovcu, Beogradu i na kontrolnom staništu tokom vegetacijske sezone (ANOVA, n=5, *p<0.05, **p<0.001, ***p<0.001, ns – nema značajnih razlika)

JUN																										
Cu [mg/kg]		Pančevo					Smederevo					Obrenovac					Beograd					Kontrola				
Vrsta	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	
P(I)	4.91 (0.14)	/	***	ns	ns	4.09 (0.53)	/	ns	ns	***	5.38 (0.37)	/	***	***	ns	5.18 (0.23)	/	***	***	***	5.56 (0.42)	/	***	***	***	
P(II)	3.12 (0.11)	***	/	***	***	3.01 (0.77)	ns	/	ns	ns	3.98 (0.13)	***	/	***	ns	3.64 (0.27)	***	/	***	***	7.96 (0.89)	***	/	***	ns	
A. h	5.58 (0.18)	ns	***	/	ns	3.10 (0.27)	ns	ns	/	ns	6.98 (0.59)	***	***	/	***	23.51 (0.89)	***	***	/	***	10.78 (0.43)	***	***	/	***	
P. a	4.99 (0.21)	ns	***	ns	/	2.14 (0.15)	***	ns	ns	/	4.82 (0.42)	ns	ns	***	/	22.03 (0.36)	***	***	***	/	8.84 (0.26)	***	ns	***	/	
AVGUST																										
Cu [mg/kg]		Pančevo					Smederevo					Obrenovac					Beograd					Kontrola				
Vrsta	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	
P(I)	4.47 (0.24)	/	***	ns	ns	1.27 (0.31)	/	ns	*	ns	3.28 (0.69)	/	***	ns	ns	3.05 (0.21)	/	ns	***	***	4.92 (0.36)	/	***	***	***	
P(II)	2.56 (0.33)	***	/	***	***	1.97 (0.62)	ns	/	ns	ns	1.87 (0.17)	***	/	**	***	2.72 (0.25)	ns	/	***	***	2.24 (0.10)	***	/	***	***	
A. h	5.16 (0.57)	ns	***	/	ns	2.49 (0.25)	*	ns	/	ns	3.10 (0.51)	ns	**	/	ns	9.27 (0.15)	***	***	/	***	9.82 (0.35)	***	***	/	***	
P. a	4.87 (0.43)	ns	***	ns	/	1.47 (0.19)	ns	ns	ns	/	3.59 (0.48)	ns	***	ns	/	11.02 (0.54)	***	***	***	/	7.91 (0.35)	***	***	***	/	
OKTOBAR																										
Cu [mg/kg]		Pančevo					Smederevo					Obrenovac					Beograd					Kontrola				
Vrsta	M(SD)	P(I)	P(II)	A.	P.a	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	
P(I)	3.68 (0.16)	/	ns	***	ns	2.86 (0.37)	/	ns	ns	ns	2.08 (0.25)	/	ns	***	***	3.07 (0.13)	/	ns	***	***	4.62 (0.41)	/	***	***	ns	
P(II)	3.09 (0.12)	ns	/	***	**	2.49 (0.14)	ns	/	ns	ns	1.70 (0.18)	ns	/	***	***	3.18 (0.14)	ns	/	***	***	9.36 (0.96)	***	/	*	***	
A. h	5.28 (0.29)	***	***	/	ns	2.92 (0.27)	ns	ns	/	ns	4.80 (0.52)	***	***	/	ns	15.33 (0.32)	***	***	/	***	10.58 (0.49)	***	*	/	***	
P. a	4.39 (0.37)	ns	**	ns	/	3.38 (0.35)	ns	ns	ns	/	3.82 (0.21)	***	***	ns	/	13.49 (0.35)	***	***	***	/	5.59 (0.26)	ns	***	***	/	

Tabela 28. Sadržaj Fe u četinama i listovima ispitivanih vrsta u Pančevu (P), Smederevu (S), Obrenovcu (O), Beogradu (B) i na kontrolnom staništu (K) tokom vegetacijske sezone (ANOVA, n=5, *p<0.05, **p<0.001, ***p<0.001, ns – nema značajnih razlika)

<i>Pinus nigra</i> jednogodišnje četine																		
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
P	50.18 (2.48)	/	***	***	***	***	42.39 (1.83)	/	***	*	***	**	68.79 (3.81)	/	***	ns	***	***
S	70.41 (1.49)	***	/	***	***	***	91.64 (2.47)	***	/	***	***	***	152.28 (2.91)	***	/	***	***	***
O	29.47 (1.29)	***	***	/	ns	ns	34.80 (2.11)	*	***	/	***	***	69.90 (2.47)	ns	***	/	***	***
B	30.32 (0.28)	***	***	ns	/	ns	71.79 (1.18)	***	***	***	/	***	114.81 (1.75)	***	***	***	/	***
K	32.83 (2.54)	***	***	ns	ns	/	50.12 (2.39)	**	***	***	***	/	142.48 (4.34)	***	***	***	***	/
<i>Pinus nigra</i> dvogodišnje četine																		
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
P	106.16 (2.67)	/	***	***	***	***	212.85 (3.84)	/	ns	***	***	***	195.43 (1.97)	/	***	***	***	***
S	139.86 (1.66)	***	/	***	***	ns	207.51 (3.64)	ns	/	***	***	***	305.97 (2.66)	***	/	***	***	***
O	70.98 (2.51)	***	***	/	**	***	67.71 (2.68)	***	***	/	***	***	165.35 (1.89)	***	***	/	***	***
B	79.47 (0.79)	***	***	**	/	***	128.17 (0.99)	***	***	***	/	***	244.88 (4.18)	***	***	***	/	***
K	140.73 (1.92)	***	ns	***	***	/	116.70 (3.18)	***	***	***	***	/	260.74 (3.13)	***	***	***	***	/
<i>Aesculus hippocastanum</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
P	195.11 (2.69)	/	***	***	***	***	367.64 (3.54)	/	***	***	***	***	423.66 (2.65)	/	***	***	***	***
S	287.32 (2.31)	***	/	***	***	***	613.63 (1.48)	***	/	***	***	***	444.31 (2.07)	***	/	***	***	***
O	98.20 (0.91)	***	***	/	***	***	275.67 (2.59)	***	***	/	***	***	248.35 (2.22)	***	***	/	***	***
B	372.56 (2.17)	***	***	***	/	***	545.31 (2.40)	***	***	***	/	***	1001.33 (7.16)	***	***	***	/	***
K	137.33 (1.33)	***	***	***	***	/	233.13 (1.97)	***	***	***	***	/	303.02 (2.61)	***	***	***	***	/
<i>Platanus acerifolia</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
P	94.26 (6.34)	/	***	***	***	ns	140.76 (5.61)	/	***	ns	***	***	185.17 (6.81)	/	***	***	***	ns
S	179.78 (8.22)	***	/	***	***	***	316.29 (12.40)	***	/	***	***	***	346.57 (23.96)	***	/	***	***	***
O	65.41 (1.96)	***	***	/	***	ns	125.98 (5.64)	ns	***	/	***	***	123.21 (9.64)	***	***	/	***	***
B	141.61 (4.97)	***	***	***	/	***	223.58 (11.81)	***	***	***	/	ns	269.00 (16.93)	***	***	***	/	***
K	80.65 (0.67)	ns	***	ns	***	/	225.07 (2.12)	***	***	***	ns	/	178.82 (22.36)	ns	***	***	***	/

Tabela 29. Razlike u sadržaju Fe u jednogodišnjim četinama *P. nigra* (P(I)), dvogodišnjim četinama *P. nigra* (P(II)), *A. hippocastanum* (A.h) i *P. acerifolia* (P.a) u Pančevu, Smederevu, Obrenovcu, Beogradu i na kontrolnom staništu tokom vegetacijske sezone (ANOVA, n=5, *p<0.05, **p<0.001, ***p<0.001, ns – nema značajnih razlika)

JUN																										
Fe [mg/kg]		Pančevo					Smederevo					Obrenovac					Beograd					Kontrola				
Vrsta	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	
P(I)	50.18 (2.48)	/	***	***	***	70.41 (1.49)	/	***	***	***	29.47 (1.29)	/	***	***	***	30.32 (0.28)	/	***	***	***	32.83 (2.54)	/	***	***	***	
P(II)	106.16 (2.67)	***	/	***	ns	139.86 (1.66)	***	/	***	***	70.98 (2.51)	***	/	***	ns	79.47 (0.79)	***	/	***	***	140.73 (1.92)	***	/	ns	***	
A. h	195.11 (2.69)	***	***	/	***	287.32 (2.31)	***	***	/	***	98.20 (0.91)	***	***	/	***	372.56 (2.17)	***	***	/	***	137.33 (1.33)	***	ns	/	***	
P. a	94.26 (6.34)	***	ns	***	/	179.78 (8.22)	***	***	***	/	65.41 (1.96)	***	ns	***	/	141.61 (4.97)	***	***	***	/	80.65 (0.67)	***	***	***	/	
AVGUST																										
Fe [mg/kg]		Pančevo					Smederevo					Obrenovac					Beograd					Kontrola				
Vrsta	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	
P(I)	42.39 (1.83)	/	***	***	***	91.64 (2.47)	/	***	***	***	34.80 (2.11)	/	***	***	***	71.79 (1.18)	/	***	***	***	50.12 (2.39)	/	***	***	***	
P(II)	212.85 (3.84)	***	/	***	***	207.51 (3.64)	***	/	***	***	67.71 (2.68)	***	/	***	***	128.17 (0.99)	***	/	***	***	116.70 (3.18)	***	/	***	***	
A. h	367.64 (3.54)	***	***	/	***	613.63 (1.48)	***	***	/	****	275.67 (2.59)	***	***	/	***	545.31 (2.40)	***	***	/	***	233.13 (1.97)	***	***	/	ns	
P. a	140.76 (5.61)	***	***	***	/	316.29 (12.40)	***	***	***	/	125.98 (5.64)	***	***	***	/	223.58 (11.81)	***	***	***	/	225.07 (2.12)	***	***	ns	/	
OKTOBAR																										
Fe [mg/kg]		Pančevo					Smederevo					Obrenovac					Beograd					Kontrola				
Vrsta	M(SD)	P(I)	P(II)	A.	P.a	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	
P(I)	68.79 (3.81)	/	***	***	***	152.28 (2.91)	/	***	***	***	69.90 (2.47)	/	***	***	***	114.81 (1.75)	/	***	***	***	142.48 (4.34)	/	***	***	***	
P(II)	195.43 (1.97)	***	/	***	ns	305.97 (2.66)	***	/	***	***	165.35 (1.89)	***	/	***	***	244.88 (4.18)	***	/	***	***	260.74 (3.13)	***	/	***	***	
A. h	423.66 (2.65)	***	***	/	***	444.31 (2.07)	***	***	/	***	248.35 (2.22)	***	***	/	***	1001.33 (7.16)	***	***	/	***	303.02 (2.61)	***	***	/	***	
P. a	185.17 (6.81)	***	ns	***	/	346.57 (23.96)	***	***	***	/	123.21 (9.64)	***	***	***	/	269.00 (16.93)	***	***	***	/	178.82 (22.36)	***	***	***	/	

Tabela 30. Sadržaj Mn u četinama i listovima ispitivanih vrsta u Pančevu (P), Smederevu (S), Obrenovcu (O), Beogradu (B) i na kontrolnom staništu (K) tokom vegetacijske sezone (ANOVA, n=5, *p<0.05, **p<0.001, ***p<0.001, ns – nema značajnih razlika)

<i>Pinus nigra</i> jednogodišnje četine																		
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
P	12.49 (0.25)	/	ns	ns	***	ns	16.70 (0.27)	/	ns	ns	***	ns	19.83 (0.76)	/	ns	***	***	ns
S	13.15 (0.39)	ns	/	**	***	ns	17.53 (0.47)	ns	/	ns	***	ns	22.50 (0.54)	ns	/	***	***	ns
O	9.54 (0.23)	ns	**	/	***	***	15.72 (0.17)	ns	ns	/	***	ns	14.63 (1.87)	***	***	/	***	***
B	19.74 (0.59)	***	***	***	/	***	24.99 (1.14)	***	***	***	/	***	26.88 (1.12)	***	***	***	/	***
K	14.52 (0.59)	ns	ns	***	***	/	15.04 (0.32)	ns	ns	ns	***	/	20.09 (0.53)	ns	ns	***	***	/
<i>Pinus nigra</i> dvogodišnje četine																		
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
P	22.73 (0.54)	/	**	***	***	***	28.83 (0.53)	/	***	ns	***	***	25.13 (1.17)	/	***	***	***	***
S	18.80 (0.77)	**	/	***	***	ns	23.56 (1.60)	***	/	***	***	ns	33.13 (0.84)	***	/	***	***	***
O	11.62 (0.32)	***	***	/	***	***	29.51 (2.78)	ns	***	/	***	***	13.47 (1.08)	***	***	/	***	***
B	45.32 (2.79)	***	***	***	/	***	44.37 (0.21)	***	***	***	/	***	44.88 (2.93)	***	***	***	/	***
K	17.91 (1.00)	***	ns	***	***	/	22.81 (0.99)	***	ns	***	***	/	16.93 (1.44)	***	***	***	***	/
<i>Aesculus hippocastanum</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
P	52.47 (1.18)	/	***	***	***	***	85.30 (2.90)	/	***	***	***	***	66.35 (0.84)	/	***	***	***	***
S	27.39 (0.95)	***	/	***	***	ns	32.39 (0.88)	***	/	***	***	ns	58.49 (0.70)	***	/	***	***	***
O	15.61 (0.29)	***	***	/	***	***	27.07 (1.00)	***	***	/	***	***	21.26 (0.51)	***	***	/	***	ns
B	44.45 (1.67)	***	***	***	/	***	74.94 (1.21)	***	***	***	/	***	98.93 (2.72)	***	***	***	/	***
K	27.45 (0.56)	***	ns	***	***	/	33.64 (0.97)	***	ns	***	***	/	22.92 (0.28)	***	***	ns	***	/
<i>Platanus acerifolia</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
P	42.42 (1.16)	/	***	***	***	***	68.38 (1.42)	/	***	***	***	***	76.91 (3.17)	/	***	ns	***	***
S	14.64 (0.28)	***	/	***	ns	***	28.39 (0.20)	***	/	***	ns	***	35.27 (2.29)	***	/	***	ns	***
O	19.93 (0.48)	***	***	/	***	***	58.86 (1.19)	***	***	/	***	***	75.29 (2.53)	ns	***	/	***	***
B	14.00 (0.42)	***	ns	***	/	***	29.31 (1.46)	***	ns	***	/	***	38.74 (1.14)	***	ns	***	/	***
K	26.80 (0.43)	***	***	***	***	/	63.85 (0.50)	***	***	***	***	/	64.31 (2.29)	***	***	***	***	/

Tabela 31. Razlike u sadržaju Mn u jednogodišnjim četinama *P. nigra* (P(I)), dvogodišnjim četinama *P. nigra* (P(II)), *A. hippocastanum* (A.h) i *P. acerifolia* (P.a) u Pančevu, Smederevu, Obrenovcu, Beogradu i na kontrolnom staništu tokom vegetacijske sezone (ANOVA, n=5, *p<0.05, **p<0.001, ***p<0.001, ns – nema značajnih razlika)

JUN																										
Mn [mg/kg]		Pančevo					Smederevo					Obrenovac					Beograd					Kontrola				
Vrsta	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	
P(I)	12.49 (0.25)	/	***	***	***	13.15 (0.39)	/	***	***	ns	9.54 (0.23)	/	ns	***	***	19.74 (0.59)	/	***	***	***	14.52 (0.59)	/	*	***	***	
P(II)	22.73 (0.54)	***	/	***	***	18.80 (0.77)	***	/	***	**	11.62 (0.32)	ns	/	**	***	45.32 (2.79)	***	/	ns	***	17.91 (1.00)	*	/	***	***	
A. h	52.47 (1.18)	***	***	/	***	27.39 (0.95)	***	***	/	***	15.61 (0.29)	***	**	/	**	44.45 (1.67)	***	ns	/	***	27.45 (0.56)	***	***	/	ns	
P. a	42.42 (1.16)	***	***	***	/	14.64 (0.28)	ns	**	***	/	19.93 (0.48)	***	***	**	/	14.00 (0.42)	***	***	***	/	26.80 (0.43)	***	***	ns	/	
AVGUST																										
Mn [mg/kg]		Pančevo					Smederevo					Obrenovac					Beograd					Kontrola				
Vrsta	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	
P(I)	16.70 (0.27)	/	***	***	***	17.53 (0.47)	/	***	***	***	15.72 (0.17)	/	***	***	***	24.99 (1.14)	/	***	***	**	15.04 (0.32)	/	***	***	***	
P(II)	28.83 (0.53)	***	/	***	***	23.56 (1.60)	***	/	***	***	29.51 (2.78)	***	/	ns	***	44.37 (0.21)	***	/	***	***	22.81 (0.99)	***	/	***	***	
A. h	85.30 (2.90)	***	***	/	***	32.39 (0.88)	***	***	/	**	27.07 (1.00)	***	ns	/	***	74.94 (1.21)	***	***	/	***	33.64 (0.97)	***	***	/	***	
P. a	68.38 (1.42)	***	***	***	/	28.39 (0.20)	***	***	**	/	58.86 (1.19)	***	***	***	/	29.31 (1.46)	**	***	***	/	63.85 (0.50)	***	***	***	/	
OKTOBAR																										
Mn [mg/kg]		Pančevo					Smederevo					Obrenovac					Beograd					Kontrola				
Vrsta	M(SD)	P(I)	P(II)	A.	P.a	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	
P(I)	19.83 (0.76)	/	***	***	***	22.50 (0.54)	/	***	***	***	14.63 (1.87)	/	ns	***	***	26.88 (1.12)	/	***	***	***	20.09 (0.53)	/	ns	ns	***	
P(II)	25.13 (1.17)	***	/	***	***	33.13 (0.84)	***	/	***	ns	13.47 (1.08)	ns	/	***	***	44.88 (2.93)	***	/	***	***	16.93 (1.44)	ns	/	***	***	
A. h	66.35 (0.84)	***	***	/	***	58.49 (0.70)	***	***	/	***	21.26 (0.51)	***	***	/	***	98.93 (2.72)	***	***	/	***	22.92 (0.28)	ns	***	/	***	
P. a	76.91 (3.17)	***	***	***	/	35.27 (2.29)	***	ns	***	/	75.29 (2.53)	***	***	***	/	38.74 (1.14)	***	***	***	/	64.31 (2.29)	***	***	***	/	

Tabela 32. Sadržaj Sr u četinama i listovima ispitivanih vrsta u Pančevu (P), Smederevu (S), Obrenovcu (O), Beogradu (B) i na kontrolnom staništu (K) tokom vegetacijske sezone (ANOVA, n=5, *p<0.05, **p<0.001, ***p<0.001, ns – nema značajnih razlika)

<i>Pinus nigra</i> jednogodišnje četine																		
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
P	10.20 (0.32)	/	ns	ns	**	*	7.41 (0.53)	/	ns	ns	ns	ns	7.04 (0.28)	/	ns	ns	**	ns
S	10.40 (0.44)	ns	/	ns	*	ns	8.67 (0.26)	ns	/	ns	ns	ns	5.97 (0.44)	ns	/	ns	***	ns
O	11.86 (0.27)	ns	ns	/	ns	ns	8.98 (0.22)	ns	ns	/	ns	*	4.79 (0.67)	ns	ns	/	***	*
B	12.78 (0.17)	**	*	ns	/	ns	6.80 (0.39)	ns	ns	ns	/	ns	9.80 (0.58)	**	***	***	/	**
K	12.58 (0.35)	*	ns	ns	ns	/	6.58 (0.48)	ns	ns	*	ns	/	7.18 (1.28)	ns	ns	*	**	/
<i>Pinus nigra</i> dvogodišnje četine																		
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
P	14.63 (0.49)	/	ns	ns	***	ns	13.98 (0.85)	/	ns	ns	ns	***	9.04 (0.38)	/	ns	ns	***	ns
S	12.66 (0.54)	ns	/	***	***	**	12.52 (0.30)	ns	/	ns	ns	*	8.96 (0.25)	ns	/	ns	***	ns
O	15.88 (0.30)	ns	***	/	***	ns	12.40 (0.40)	ns	ns	/	ns	ns	7.22 (0.68)	ns	ns	/	***	ns
B	22.75 (0.39)	***	***	***	/	***	14.51 (0.74)	ns	ns	ns	/	***	18.75 (0.66)	***	***	***	/	***
K	15.35 (0.32)	ns	**	ns	***	/	10.15 (0.25)	***	*	ns	***	/	8.99 (0.28)	ns	ns	ns	***	/
<i>Aesculus hippocastanum</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
P	31.13 (0.56)	/	***	ns	***	***	42.05 (0.93)	/	***	***	***	***	36.67 (1.53)	/	***	***	***	***
S	41.62 (0.69)	***	/	***	***	ns	53.40 (1.00)	***	/	***	***	***	50.27 (1.18)	***	/	***	***	***
O	30.68 (0.18)	ns	***	/	***	***	35.12 (1.06)	***	***	/	***	***	27.82 (0.49)	***	***	/	***	***
B	86.27 (0.51)	***	***	***	/	***	79.47 (1.99)	***	***	***	/	***	107.56 (2.27)	***	***	***	/	***
K	39.35 (0.72)	***	ns	***	***	/	56.67 (2.68)	***	***	***	***	/	54.46 (1.76)	***	***	***	***	/
<i>Platanus acerifolia</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
P	49.09 (0.74)	/	***	***	***	***	50.88 (1.70)	/	***	***	***	***	58.68 (2.17)	/	***	***	***	***
S	26.87 (1.29)	***	/	ns	***	***	29.80 (0.66)	***	/	ns	***	***	29.53 (1.99)	***	/	***	***	***
O	28.22 (0.81)	***	ns	/	***	***	32.44 (1.09)	***	ns	/	***	***	42.95 (1.60)	***	***	/	***	***
B	98.09 (4.71)	***	***	***	/	***	102.04 (6.68)	***	***	***	/	***	118.55 (3.47)	***	***	***	/	***
K	36.79 (0.72)	***	***	***	***	/	57.28 (1.19)	***	***	***	***	/	53.07 (3.21)	***	***	***	***	/

Tabela 33. Razlike u sadržaju Sr u jednogodišnjim četinama *P. nigra* (P(I)), dvogodišnjim četinama *P. nigra* (P(II)), *A. hippocastanum* (A.h) i *P. acerifolia* (P.a) u Pančevu, Smederevu, Obrenovcu, Beogradu i na kontrolnom staništu tokom vegetacijske sezone (ANOVA, n=5, *p<0.05, **p<0.001, ***p<0.001, ns – nema značajnih razlika)

JUN																										
Sr [mg/kg]		Pančevo					Smederevo					Obrenovac					Beograd					Kontrola				
Vrsta	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	
P(I)	10.20 (0.32)	/	***	***	***	10.40 (0.44)	/	ns	***	***	11.86 (0.27)	/	***	***	***	12.78 (0.17)	/	***	***	***	12.58 (0.35)	/	**	***	***	
P(II)	14.63 (0.49)	***	/	***	***	12.66 (0.54)	ns	/	***	***	15.88 (0.30)	***	/	***	***	22.75 (0.39)	***	/	***	***	15.35 (0.32)	**	/	***	***	
A. h	31.13 (0.56)	***	***	/	***	41.62 (0.69)	***	***	/	***	30.68 (0.18)	***	***	/	ns	86.27 (0.51)	***	***	/	***	39.35 (0.72)	***	***	/	ns	
P. a	49.09 (0.74)	***	***	***	/	26.87 (1.29)	***	***	***	/	28.22 (0.81)	***	***	ns	/	98.09 (4.71)	***	***	***	/	36.79 (0.72)	***	***	ns	/	
AVGUST																										
Sr [mg/kg]		Pančevo					Smederevo					Obrenovac					Beograd					Kontrola				
Vrsta	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	
P(I)	7.41 (0.53)	/	***	***	***	8.67 (0.26)	/	***	***	***	8.98 (0.22)	/	***	***	***	6.80 (0.39)	/	***	***	***	6.58 (0.48)	/	***	***	***	
P(II)	13.98 (0.85)	***	/	***	***	12.52 (0.30)	***	/	***	***	12.40 (0.40)	***	/	***	***	14.51 (0.74)	***	/	***	***	10.15 (0.25)	***	/	***	***	
A. h	42.05 (0.93)	***	***	/	***	53.40 (1.00)	***	***	/	***	35.12 (1.06)	***	***	/	ns	79.47 (1.99)	***	***	/	***	56.67 (2.68)	***	***	/	ns	
P. a	50.88 (1.70)	***	***	***	/	29.80 (0.66)	***	***	***	/	32.44 (1.09)	***	***	ns	/	102.04 (6.68)	***	***	***	/	57.28 (1.19)	***	***	ns	/	
OKTOBAR																										
Sr [mg/kg]		Pančevo					Smederevo					Obrenovac					Beograd					Kontrola				
Vrsta	M(SD)	P(I)	P(II)	A.	P.a	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	
P(I)	7.04 (0.28)	/	ns	***	***	5.97 (0.44)	/	***	***	***	4.79 (0.67)	/	*	***	***	9.80 (0.58)	/	***	**	***	7.18 (1.28)	/	ns	***	***	
P(II)	9.04 (0.38)	ns	/	***	***	8.96 (0.25)	***	/	***	***	7.22 (0.68)	*	/	***	***	18.75 (0.66)	***	/	***	***	8.99 (0.28)	ns	/	***	***	
A. h	36.67 (1.53)	***	***	/	***	50.27 (1.18)	***	***	/	***	27.82 (0.49)	***	***	/	***	107.56 (2.27)	***	***	/	***	54.46 (1.76)	***	***	/	ns	
P. a	58.68 (2.17)	***	***	***	/	29.53 (1.99)	***	***	***	/	42.95 (1.60)	***	***	***	/	118.55 (3.47)	***	***	***	/	53.07 (3.21)	***	***	ns	/	

Tabela 34. Sadržaj Zn u četinama i listovima ispitivanih vrsta u Pančevu (P), Smederevu (S), Obrenovcu (O), Beogradu (B) i na kontrolnom staništu (K) tokom vegetacijske sezone (ANOVA, n=5, *p<0.05, **p<0.001, ***p<0.001, ns – nema značajnih razlika)

<i>Pinus nigra</i> jednogodišnje četine																		
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
P	19.09 (0.76)	/	***	*	ns	ns	19.03 (0.85)	/	***	***	***	***	22.66 (1.51)	/	***	ns	***	***
S	14.69 (0.44)	***	/	ns	**	***	23.51 (2.37)	***	/	***	***	***	28.95 (0.74)	***	/	***	ns	ns
O	15.26 (0.32)	*	ns	/	ns	***	31.06 (3.70)	***	***	/	ns	ns	22.92 (0.47)	ns	***	/	***	***
B	18.81 (1.45)	ns	**	ns	/	ns	29.48 (0.55)	***	***	ns	/	ns	31.16 (1.66)	***	ns	***	/	ns
K	21.18 (2.66)	ns	***	***	ns	/	29.98 (1.59)	***	***	ns	ns	/	32.52 (1.32)	***	ns	***	ns	/
<i>Pinus nigra</i> dvogodišnje četine																		
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
P	15.01 (1.20)	/	***	***	***	ns	21.48 (1.64)	/	ns	***	***	***	18.54 (1.30)	/	ns	ns	***	ns
S	9.46 (0.20)	***	/	ns	***	***	18.72 (1.63)	ns	/	**	***	ns	21.78 (1.35)	ns	/	ns	***	*
O	9.82 (0.79)	***	ns	/	***	***	14.76 (1.13)	***	**	/	***	ns	20.40 (1.01)	ns	ns	/	***	ns
B	19.88 (1.09)	***	***	***	/	***	30.52 (0.74)	***	***	***	/	***	36.86 (2.16)	***	***	***	/	***
K	15.17 (0.44)	ns	***	***	***	/	16.57 (0.75)	***	ns	ns	***	/	18.13 (0.75)	ns	*	ns	***	/
<i>Aesculus hippocastanum</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
P	10.84 (0.69)	/	ns	ns	***	***	14.30 (1.15)	/	**	ns	***	ns	22.53 (0.96)	/	***	***	***	ns
S	10.00 (0.63)	ns	/	ns	***	***	18.35 (1.16)	**	/	ns	***	ns	17.28 (1.01)	***	/	ns	***	***
O	10.23 (0.74)	ns	ns	/	***	***	15.55 (0.17)	ns	ns	/	***	ns	16.62 (1.12)	***	ns	/	***	***
B	30.98 (1.47)	***	***	***	/	***	34.94 (2.86)	***	***	***	/	***	56.42 (1.78)	***	***	***	/	***
K	15.52 (0.36)	***	***	***	***	/	17.70 (0.45)	ns	ns	ns	***	/	21.82 (0.84)	ns	***	***	***	/
<i>Platanus acerifolia</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
P	10.63 (2.95)	/	ns	ns	***	***	6.59 (0.98)	/	ns	***	***	***	10.52 (1.24)	/	***	***	***	***
S	8.34 (1.61)	ns	/	ns	***	***	10.60 (0.83)	ns	/	***	***	***	16.22 (1.38)	***	/	ns	***	ns
O	12.43 (0.98)	ns	ns	/	***	ns	17.18 (1.94)	***	***	/	ns	ns	20.46 (5.24)	***	ns	/	***	ns
B	20.36 (0.61)	***	***	***	/	ns	20.05 (2.23)	***	***	ns	/	ns	30.60 (3.52)	***	***	***	/	***
K	16.67 (3.97)	***	***	ns	ns	/	16.81 (1.06)	***	***	ns	ns	/	16.55 (3.06)	***	ns	ns	***	/

Tabela 35. Razlike u sadržaju Zn u jednogodišnjim četinama *P. nigra* (P(I)), dvogodišnjim četinama *P. nigra* (P(II)), *A. hippocastanum* (A.h) i *P. acerifolia* (P.a) u Pančevu, Smederevu, Obrenovcu, Beogradu i na kontrolnom staništu tokom vegetacijske sezone (ANOVA, n=5, *p<0.05, **p<0.001, ***p<0.001, ns – nema značajnih razlika)

JUN																										
Zn [mg/kg]		Pančevo					Smederevo					Obrenovac					Beograd					Kontrola				
Vrsta	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	
P(I)	19.09 (0.76)	/	**	***	***	14.69 (0.44)	/	***	***	***	15.26 (0.32)	/	***	***	ns	18.81 (1.45)	/	ns	***	ns	21.18 (2.66)	/	***	***	ns	
P(II)	15.01 (1.20)	**	/	**	ns	9.46 (0.20)	***	/	ns	ns	9.82 (0.79)	***	/	ns	ns	19.88 (1.09)	ns	/	***	ns	15.17 (0.44)	***	/	ns	ns	
A. h	10.84 (0.69)	***	**	/	ns	10.00 (0.63)	***	ns	/	ns	10.23 (0.74)	***	ns	/	ns	30.98 (1.47)	***	***	/	***	15.52 (0.36)	***	ns	/	ns	
P. a	10.63 (2.95)	***	ns	ns	/	8.34 (1.61)	***	ns	ns	/	12.43 (0.98)	ns	ns	ns	/	20.36 (0.61)	ns	ns	***	/	16.67 (3.97)	ns	ns	ns	/	
AVGUST																										
Zn [mg/kg]		Pančevo					Smederevo					Obrenovac					Beograd					Kontrola				
Vrsta	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	
P(I)	19.03 (0.85)	/	ns	***	***	23.51 (2.37)	/	***	***	***	31.06 (3.70)	/	***	***	***	29.48 (0.55)	/	ns	***	***	29.98 (1.59)	/	***	***	***	
P(II)	21.48 (1.64)	ns	/	***	***	18.72 (1.63)	***	/	ns	***	14.76 (1.13)	***	/	ns	ns	30.52 (0.74)	ns	/	***	***	16.57 (0.75)	***	/	ns	ns	
A. h	14.30 (1.15)	***	***	/	***	18.35 (1.16)	***	ns	/	***	15.55 (0.17)	***	ns	/	ns	34.94 (2.86)	***	***	/	***	17.70 (0.45)	***	ns	/	ns	
P. a	6.59 (0.98)	***	***	***	/	10.60 (0.83)	***	***	***	/	17.18 (1.94)	***	ns	ns	/	20.05 (2.23)	***	***	***	/	16.81 (1.06)	***	ns	ns	/	
OKTOBAR																										
Zn [mg/kg]		Pančevo					Smederevo					Obrenovac					Beograd					Kontrola				
Vrsta	M(SD)	P(I)	P(II)	A.	P.a	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	
P(I)	22.66 (1.51)	/	**	ns	***	28.95 (0.74)	/	***	***	***	22.92 (0.47)	/	ns	***	ns	31.16 (1.66)	/	***	***	ns	32.52 (1.32)	/	***	***	***	
P(II)	18.54 (1.30)	**	/	**	***	21.78 (1.35)	***	/	***	**	20.40 (1.01)	ns	/	*	ns	36.86 (2.16)	***	/	***	***	18.13 (0.75)	***	/	*	ns	
A. h	22.53 (0.96)	ns	**	***	***	17.28 (1.01)	***	***	/	ns	16.62 (1.12)	***	*	/	ns	56.42 (1.78)	***	***	/	***	21.82 (0.84)	***	*	/	**	
P. a	10.52 (1.24)	***	***	***	/	16.22 (1.38)	***	**	ns	/	20.46 (5.24)	ns	ns	ns	/	30.60 (3.52)	ns	***	***	/	16.55 (3.06)	***	ns	**	/	

Tabela 36. Sadržaj Cr, Ni i Pb u četinama i listovima ispitivanih vrsta

<i>Pinus nigra</i> jednogodišnje četine									
Lokalitet	JUN			AVGUST			OKTOBAR		
	Cr	Ni	Pb	Cr	Ni	Pb	Cr	Ni	Pb
Pančevo	/	1.42 (0.05)	1.21 (0.10)	/	/	/	1.50 (0.11)	/	/
Smederevo	/	2.08 (0.04)	0.78 (0.12)	/	/	/	2.45 (0.21)	/	/
Obrenovac	/	2.52 (0.95)	0.95 (0.18)	/	/	/	0.89 (0.14)	/	/
Beograd	/	1.94 (0.14)	1.12 (0.17)	1.03 (0.13)	/	/	2.37 (0.13)	/	/
Kontrola	/	1.72 (0.04)	1.38 (0.29)	/	/	/	1.19 (0.21)	/	/

<i>Pinus nigra</i> dvogodišnje četine									
Lokalitet	JUN			AVGUST			OKTOBAR		
	Cr	Ni	Pb	Cr	Ni	Pb	Cr	Ni	Pb
Pančevo	/	1.50 (0.05)	1.29 (0.17)	0.80 (0.19)	/	/	2.02 (0.14)	/	/
Smederevo	/	1.47 (0.05)	1.02 (0.10)	0.83 (0.20)	/	/	2.87 (0.17)	/	/
Obrenovac	/	1.72 (0.03)	1.07 (0.12)	/	/	/	2.22 (0.69)	/	/
Beograd	/	1.78 (0.05)	1.27 (0.23)	0.87 (0.18)	/	/	2.77 (0.43)	/	/
Kontrola	/	1.69 (0.04)	1.78 (0.17)	0.67 (0.01)	/	/	1.53 (0.13)	/	/

<i>Aesculus hippocastanum</i>									
Lokalitet	JUN			AVGUST			OKTOBAR		
	Cr	Ni	Pb	Cr	Ni	Pb	Cr	Ni	Pb
Pančevo	/	1.35 (0.03)	/	/	/	/	3.09 (0.30)	/	/
Smederevo	/	1.52 (0.05)	/	/	/	/	2.99 (0.40)	/	/
Obrenovac	/	1.69 (0.10)	/	/	/	/	2.49 (0.23)	/	/
Beograd	/	2.74 (0.16)	/	/	/	/	6.41 (0.32)	/	/
Kontrola	/	1.04 (0.09)	/	/	/	/	2.19 (0.07)	/	/

<i>Platanus acerifolia</i>									
Lokalitet	JUN			AVGUST			OKTOBAR		
	Cr	Ni	Pb	Cr	Ni	Pb	Cr	Ni	Pb
Pančevo	/	2.13 (0.04)	/	/	/	/	1.96 (0.13)	/	/
Smederevo	/	/	/	1.12 (0.09)	/	/	2.89 (0.14)	/	/
Obrenovac	/	/	/	/	/	/	1.29 (0.27)	/	/
Beograd	/	2.90 (0.02)	/	1.27 (0.15)	/	/	1.73 (0.15)	/	/
Kontrola	/	1.73 (0.06)	/	0.93 (0.09)	/	/	1.43 (0.27)	/	/

5.2.6 Biokoncentracioni faktor (BCF) u četinama/listovima i kori drvenastih vrsta biljaka

Potencijal biljaka za fitoremedijaciju odnosno fitoekstrakciju i fitostabilizaciju hemijskih elemenata u zemljištu se može izračunati korišćenjem biokoncentracionog faktora (BCF). U našem istraživanju je korišćen odnos koncentracije elementa u listovima/kori u odnosu na njihov sadržaj u zemljištu. Fitostabilizacija predstavlja stvaranje hemijskih jedinjenja od strane biljaka i imobilizaciju zagađujućih materija kojima se na taj način smanjuje dostupnost. U analizu nisu uključeni As, Cd, Li i Se jer nisu detektovani u ispitivanim uzorcima, kao i Cr, Ni i Pb zato što nisu izmereni u svim sezonskim presecima. Vrednosti $BCF > 1$ ukazuju na potencijal biljaka za korišćenje u fitostabilizaciji određenih elemenata zemljišta.

Kada je reč o vrsti *P. nigra*, sve vrednosti BCF su bile manje od 1 što ukazuje da ova vrsta nije pogodna za fitostabilizaciju elemenata u urbanim zemljištima (Tabela 37). Listopadne vrste *A. hippocastanum* i *P. acerifolia* imaju $BCF > 1$. U listovima *A. hippocastanum* $BCF > 1$ je utvrđen u sledećim uzorcima: za B u uzorcima iz parkova u Smederevu i Beogradu, i za Sr na svim lokalitetima osim u Obrenovcu. U uzorcima kore za Cu u parkovima u Beogradu i sa kontrolnog staništa, zatim za Mn u uzorcima sa kontrolnog staništa, kao i za Sr na svim lokalitetima. Kod vrste *P. acerifolia* je $BCF > 1$ utvrđen za Sr u uzorcima listova iz parkova u Pančevu i Beogradu, i u kori sa svih lokaliteta izuzev parka u Obrenovcu (Tabela 37).

Tabela 37. Biokoncentracijski faktor (BCF) u četinama/listovima i kori ispitivanih vrsta

		LIST							
		BCF	Al	B	Cu	Fe	Mn	Sr	Zn
<i>Pinus nigra</i>	jednogod. četine	Pančevo	0.001	0.114	0.208	0.001	0.024	0.297	0.370
		Smederevo	0.002	0.183	0.042	0.003	0.029	0.162	0.148
		Obrenovac	0.001	0.137	0.171	0.001	0.019	0.205	0.351
		Beograd	0.001	0.157	0.192	0.002	0.045	0.128	0.365
		Kontrola	0.001	0.101	0.136	0.002	0.027	0.246	0.422
<i>Pinus nigra</i>	dvogod. četine	Pančevo	0.003	0.166	0.140	0.005	0.037	0.454	0.335
		Smederevo	0.003	0.256	0.038	0.008	0.042	0.221	0.110
		Obrenovac	0.004	0.184	0.120	0.003	0.026	0.284	0.228
		Beograd	0.003	0.386	0.162	0.005	0.085	0.244	0.401
		Kontrola	0.004	0.147	0.176	0.006	0.032	0.323	0.251
<i>Aesculus hippocastanum</i>		Pančevo	0.007	0.207	0.336	0.011	0.109	1.213	0.256
		Smederevo	0.011	1.364	0.079	0.019	0.065	1.203	0.100
		Obrenovac	0.002	0.218	0.246	0.005	0.027	0.804	0.234
		Beograd	0.029	1.206	0.391	0.036	0.199	1.121	0.216
		Kontrola	0.004	0.377	0.506	0.007	0.063	1.649	0.267
<i>Platanus acerifolia</i>		Pančevo	0.003	0.241	0.332	0.005	0.116	1.709	0.167
		Smederevo	0.005	0.533	0.104	0.013	0.057	0.434	0.063
		Obrenovac	0.003	0.469	0.257	0.003	0.084	0.462	0.279
		Beograd	0.003	0.346	0.696	0.007	0.040	3.255	0.347
		Kontrola	0.004	0.315	0.405	0.006	0.111	0.822	0.376
		KORA							
		BCF	Al	B	Cu	Fe	Mn	Sr	Zn
<i>Pinus nigra</i>		Pančevo	0.008	0.049	0.218	0.011	0.018	0.350	0.374
		Smederevo	0.016	0.075	0.116	0.035	0.055	0.373	0.248
		Obrenovac	0.019	0.048	0.178	0.013	0.022	0.346	0.298
		Beograd	0.013	0.072	0.270	0.016	0.052	0.338	0.473
		Kontrola	0.003	0.033	0.292	0.004	0.006	0.281	0.283
<i>Aesculus hippocastanum</i>		Pančevo	0.006	0.062	0.547	0.009	0.085	1.828	0.308
		Smederevo	0.033	0.210	0.255	0.069	0.126	1.450	0.327
		Obrenovac	0.015	0.063	0.332	0.016	0.058	1.542	0.358
		Beograd	0.111	0.197	1.081	0.091	0.332	2.463	0.545
		Kontrola	0.423	0.990	1.649	0.561	1.466	1.185	0.859
<i>Platanus acerifolia</i>		Pančevo	0.007	0.091	0.420	0.010	0.056	1.161	0.155
		Smederevo	0.008	0.136	0.134	0.016	0.041	1.828	0.067
		Obrenovac	0.004	0.073	0.240	0.003	0.028	0.570	0.102
		Beograd	0.013	0.097	0.453	0.024	0.044	9.334	0.615
		Kontrola	0.005	0.085	0.985	0.007	0.027	1.029	0.369

5.2.7 Odnos između koncentracija hemijskih elemenata u četinama/listovima drvenastih vrsta biljaka i u zemljištu u urbanim parkovima

U cilju razumevanja puteva usvajanja, raspodele i akumulacije elemenata, korišćenjem Pirsonovog koeficijenta korelacije (r) analizirani su odnosi između sadržaja hemijskih elemenata u listovima i zemljištu ispitivanih vrsta tokom sva tri sezonska preseka na istraživanim lokalitetima, a u razmatranje su uzeti samo statistički značajni koeficijenti korelacije ($*p < 0.05$, $**p < 0.01$).

Prema rezultatima Pirsonove korelacione matrice ostvarene su sledeće statistički značajne korelacije između koncentracija elemenata u listovima i u uzorcima zemljišta (Z). U jednogodišnjim četinama *P. nigra* u junu u Pančevu je utvrđena značajna pozitivna korelacija između Cu-Cu Z ($r = 0.932^*$), u avgustu negativna za isti element ($r = -0.996^{**}$). U oktobru su značajne negativne korelacije utvrđene za Fe-Fe Z ($r = -0.877^*$) i Mn-Mn Z ($r = -0.899^*$) u Pančevu. U Smederevu u oktobru je utvrđena pozitivna korelacija samo za Fe-Fe Z ($r = 0.987^*$). U Obrenovcu, u junu je utvrđena negativna korelacija za Fe-Fe Z ($r = -0.883^*$), a u avgustu pozitivna korelacija za Sr-Sr Z ($r = 0.865^*$). U Beogradu u avgustu je ustanovljena pozitivna korelacija koncentracija B-B Z ($r = 0.984^{**}$).

U dvogodišnjim četinama *P. nigra* je u avgustu u Pančevu utvrđena značajna pozitivna korelacija za Cu-Cu Z ($r = 0.928^*$), i negativna za Fe-Fe Z ($r = -0.868^*$). U Smederevu su u junu utvrđene značajne negativne korelacije za B-B Z ($r = -0.863^*$) i Cr-Cr Z ($r = -0.982^{**}$). U Beogradu su u avgustu utvrđene negativne korelacije samo za Sr-Sr Z ($r = -0.892^*$). Negativne korelacije za Mn-Mn Z ($r = -0.990^{**}$) u junu, tj. u oktobru za B-B Z ($r = -0.900^*$) su utvrđene na kontrolnom staništu.

Kod vrste *A. hippocastanum* je korelisanost elemenata u biljnom materijalu i zemljištu bila značajno manja, pa je tako utvrđena pozitivna korelacija u junu za Al-Al Z ($r = 0.984^{**}$) u Pančevu i za Zn-Zn Z ($r = 0.916^*$) na kontrolnom staništu, dok je negativna nađena u avgustu za Fe-Fe Z ($r = -0.869^*$) u parku u Smederevu.

U listovima *P. acerifolia* su ustanovljene pozitivne korelacije za B-B Z ($r = 0.981^{**}$, jun i $r = 0.941^*$, avgust), zatim za Zn-Zn Z ($r = 0.879^*$, avgust), i za Fe-Fe Z ($r = -0.902^*$, oktobar) u parku u Pančevu. U parku u Smederevu su utvrđene pozitivne korelacije za Cu-Cu Z ($r = 0.891^*$, avgust) i negativna korelacija za Sr-Sr Z ($r = -0.944^*$, oktobar). Dve

statističke značajne pozitivne korelacije u listovima *P. acerifolia* su utvrđene u avgustu u parku Pionir u Beogradu, između Mn-Mn Z ($r=0.992^{**}$) i Zn-Zn Z ($r=0.927^*$).

5.3 EFIKASNOST FOTOSINTEZE I SADRŽAJ FOTOSINTETIČKIH PIGMENATA U ČETINAMA I LISTOVIMA DRVENASTIH VRSTA BILJAKA

5.3.1 Sezonska dinamika efikasnosti fotosinteze drvenastih vrsta biljaka

Fotosintetički odgovor biljaka na ekološke uslove urbanih staništa, pre svega na akumulaciju hemijskih elemenata u listovima je analiziran korišćenjem indukovane fluorescenije hlorofila. Trofaktorska analiza varijansi (factorial ANOVA) je pokazala da sva tri faktora varijabilnosti (lokalitet, vrsta i sezona) imaju značajan uticaj na razlike u efikasnosti fotosinteze, ali da najznačajniju ulogu ima vrsta (Tabela 38). Razlike u efikasnosti fotosinteze ispitivanih vrsta su utvrđene na osnovu vremenske i prostorne dinamike parametra Fv/Fm (Tabela 39). Takođe su analizirane i razlike u fotosintetičkoj efikasnosti između vrsta na svakom staništu po sezonskom preseku (Tabela 40).

Tabela 38. Uticaj lokaliteta, vrste i sezone na razlike u fotosintetičkoj efikasnosti vrsta (p-stepen značajnosti: * $p<0.05$, ** $p<0.001$, *** $p<0.001$, ns–nema značajnih razlika)

Fv/Fm	Lokalitet	Vrsta	Sezona	Lokalitet* Vrsta	Lokalitet* Sezona	Vrsta* Sezona	Lokalitet* Vrsta* Sezona
F	371.7	4699.5	354.5	66.4	32.4	135.9	26.9
p	***	***	***	***	***	***	***

Za poređenje dobijenih rezultata korišćene su empirijski utvrđene optimalne vrednosti parametra fotosintetičke efikasnosti 0.750-0.850 (Bjorkman and Demmig 1987). Kod ispitivanih vrsta su utvrđene značajne razlike u efikasnosti fotosinteze, pre svega između četinarske i lišćarskih vrsta. Međutim, kod sve tri ispitivane vrste, tokom cele sezone, najviše vrednosti parametra Fv/Fm su izmerene na kontrolnom staništu. Vrsta *P. nigra* se u tom smislu izdvaja po nižoj efikasnosti fotosinteze (kod jednogodišnjih četina u opsegu od 0.530-0.721, a kod dvogodišnjih u opsegu od 0.442-0.649) od optimuma, i nižoj u poređenju sa vrstama *A. hippocastanum* (0.703-0.796) i *P. acerifolia* (0.666-0.831) (Tabela 39). U proseku, na bazi izmerenih vrednosti Fv/Fm,

utvrđeno je da vrsta *P. acerifolia* ima najveću efikasnost fotosinteze zato što se sve vrednosti kreću u okviru optimalnog opsega sa jednim izuzetkom koji se odnosi na uzorke iz parka u Smederevu, u oktobru (Tabela 40).

U jednogodišnjim i dvogodišnjim četinama *P. nigra*, najviša efikasnost fotosinteze je izmerena u avgustu, a u odnosu na lokalitet najviše vrednosti su izmerene u uzorcima sa kontrolnog staništa. Sa druge strane u jednogodišnjim četinama *P. nigra* najniže vrednosti Fv/Fm u sezoni su izmerene u junu, dok su u Smederevu i Beogradu izmerene u oktobru, a u dvogodišnjim u junu na svim lokalitetima, osim u Pančevu (oktobar). Dvogodišnje četine su imale nižu efikasnost fotosinteze u odnosu na jednogodišnje (Tabela 40.) U junu i oktobru u četinama obe godine *P. nigra* su utvrđene značajne razlike ($p < 0.001$) u fotosintetičkoj efikasnosti u odnosu na kontrolno stanište. Slične vrednosti (ns) Fv/Fm onima sa kontrolnog staništa su izmerene u avgustu u jednogodišnjim četinama na lokalitetima u Smederevu, Obrenovcu i Beogradu, odnosno u dvogodišnjim u Obrenovcu i Beogradu (Tabela 39).

Za razliku od vrste *P. nigra* kod koje postojala sezonska dinamika (najniže Fv/Fm izmerene u junu, a najviše u avgustu), sezonska dinamika kod vrsta *A. hippocastanum* i *P. acerifolia* nije pokazala pravilnost. Kod *A. hippocastanum* iz parka u Smederevu (0.787) i na kontrolnom staništu (0.796) najviše vrednosti su izmerene u junu, u Pančevu (0.784) i Beogradu (0.782) u avgustu, a u Obrenovcu je maksimum izmeren u oktobru (0.777). U junu, na ispitivanim lokalitetima značajne razlike u fotosintetičkoj efikasnosti biljaka u odnosu na kontrolno stanište su utvrđene u Pančevu i Obrenovcu ($p < 0.001$), u avgustu u Smederevu i Obrenovcu ($p < 0.001$), a u oktobru u Smederevu i Beogradu ($p < 0.001$) (Tabela 39). Kod *P. acerifolia* su najviše sezonske vrednosti efikasnosti fotosinteze izmerene u junu u Smederevu (0.771) i Obrenovcu (0.781), u avgustu u Pančevu (0.792) i kontrolnom staništu (0.831), dok je u Beogradu sezonski maksimum dostignut u oktobru (0.807). Najniže vrednosti Fv/Fm u sezoni su izmerene na individuama iz parka u Smederevu. Na svim lokalitetima su utvrđene statistički značajne razlike ($p < 0.001$) u fotosintetičkoj efikasnosti u odnosu na kontrolno stanište, izuzev u Pančevu u junu, i Beogradu u oktobru (ns) (Tabela 39).

Tabela 39. Efikasnost fotosinteze (Fv/Fm) ispitivanih vrsta u Pančevu (P), Smederevu (S), Obrenovcu (O), Beogradu (B) i na kontrolnom staništu (K) tokom vegetacijske sezone (ANOVA, n=40, *p<0.05, **p<0.001, ***p<0.001, ns – nema značajnih razlika)

<i>Pinus nigra</i> jednogodišnje četine																		
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
P	0.530 (0.028)	/	***	***	ns	***	0.617 (0.030)	/	***	***	***	***	0.543 (0.028)	/	ns	***	ns	***
S	0.607 (0.028)	***	/	ns	***	***	0.713 (0.026)	***	/	ns	ns	ns	0.576 (0.034)	ns	/	*	ns	***
O	0.632 (0.027)	***	ns	/	***	***	0.704 (0.025)	***	ns	/	ns	ns	0.618 (0.028)	***	*	/	ns	***
B	0.553 (0.029)	ns	***	***	/	***	0.696 (0.030)	***	ns	ns	/	ns	0.581 (0.024)	ns	ns	ns	/	***
K	0.716 (0.027)	***	***	***	***	/	0.721 (0.024)	***	ns	ns	ns	/	0.692 (0.028)	***	***	***	***	/
<i>Pinus nigra</i> dvogodišnje četine																		
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
P	0.513 (0.027)	/	***	ns	*	***	0.533 (0.028)	/	***	***	***	**	0.482 (0.025)	/	ns	***	***	***
S	0.442 (0.027)	***	/	ns	ns	***	0.591 (0.025)	***	/	**	**	**	0.478 (0.028)	ns	/	***	***	***
O	0.478 (0.024)	ns	ns	/	ns	***	0.636 (0.023)	***	**	/	ns	ns	0.561 (0.025)	***	***	/	ns	***
B	0.475 (0.028)	*	ns	ns	/	***	0.637 (0.023)	***	**	ns	/	ns	0.563 (0.026)	***	***	ns	/	***
K	0.614 (0.029)	***	***	***	***	/	0.649 (0.016)	***	***	ns	ns	/	0.628 (0.027)	***	***	***	***	/
<i>Aesculus hippocastanum</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
P	0.751 (0.050)	/	***	ns	ns	***	0.784 (0.044)	/	***	***	ns	ns	0.780 (0.024)	/	**	ns	***	ns
S	0.787 (0.033)	***	/	**	ns	ns	0.745 (0.073)	***	/	***	***	***	0.745 (0.043)	**	/	*	ns	***
O	0.752 (0.054)	ns	**	/	ns	***	0.703 (0.053)	***	***	/	***	***	0.777 (0.034)	ns	*	/	***	ns
B	0.770 (0.039)	ns	ns	ns	/	ns	0.782 (0.055)	ns	***	***	/	ns	0.726 (0.051)	***	ns	***	/	***
K	0.796 (0.018)	***	ns	***	ns	/	0.790 (0.023)	ns	***	***	ns	/	0.790 (0.021)	ns	***	ns	***	/
<i>Platanus acerifolia</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
P	0.790 (0.025)	/	ns	ns	ns	ns	0.792 (0.031)	/	***	ns	ns	***	0.766 (0.024)	/	***	*	***	***
S	0.771 (0.037)	ns	/	ns	ns	***	0.755 (0.039)	***	/	ns	ns	***	0.666 (0.057)	***	/	***	***	***
O	0.781 (0.032)	ns	ns	/	ns	***	0.773 (0.040)	ns	ns	/	ns	***	0.733 (0.078)	*	***	/	***	***
B	0.778 (0.025)	ns	ns	ns	/	***	0.774 (0.019)	ns	ns	ns	/	***	0.807 (0.017)	***	***	***	/	ns
K	0.818 (0.017)	ns	***	***	***	/	0.831 (0.024)	***	***	***	***	/	0.820 (0.016)	***	***	***	ns	/

Tabela 40. Razlike u efikasnosti fotosinteze (Fv/Fm) jednogodišnjih (P(I)), i dvogodišnjih četina (P(II)) *P. nigra*, i listova *A. hippocastanum* (A.h) i *P. acerifolia* (P.a) u Pančevu, Smederevu, Obrenovcu, Beogradu i na kontrolnom staništu tokom vegetacijske sezone (ANOVA, n=40, *p<0.05, **p<0.001, ***p<0.001, ns – nema značajnih razlika) (ANOVA, n=40, *p<0.05, **p<0.001, ***p<0.001, ns – nema značajnih razlika)

JUN																										
Fv/Fm		Pančevo					Smederevo					Obrenovac					Beograd					Kontrola				
Vrsta	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	
P(I)	0.530 (0.028)	/	ns	***	***	0.607 (0.028)	/	***	***	***	0.632 (0.027)	/	***	***	***	0.553 (0.029)	/	***	***	***	0.716 (0.027)	/	***	***	***	
P(II)	0.513 (0.027)	ns	/	***	***	0.442 (0.027)	***	/	***	***	0.478 (0.024)	***	/	***	***	0.475 (0.028)	***	/	***	***	0.614 (0.029)	***	/	***	***	
A. h	0.751 (0.050)	***	***	/	***	0.787 (0.033)	***	***	/	ns	0.752 (0.054)	***	***	/	ns	0.770 (0.039)	***	***	/	***	0.796 (0.018)	***	***	/	ns	
P. a	0.790 (0.025)	***	***	***	/	0.771 (0.037)	***	***	ns	/	0.781 (0.032)	***	***	ns	/	0.778 (0.025)	***	***	***	/	0.818 (0.017)	***	***	ns	/	
AVGUST																										
Fv/Fm		Pančevo					Smederevo					Obrenovac					Beograd					Kontrola				
Vrsta	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	
P(I)	0.617 (0.030)	/	***	***	***	0.713 (0.026)	/	***	ns	**	0.704 (0.025)	/	***	ns	***	0.696 (0.030)	/	***	***	***	0.721 (0.024)	/	***	***	***	
P(II)	0.533 (0.028)	***	/	***	***	0.591 (0.025)	***	/	***	***	0.636 (0.027)	***	/	***	***	0.637 (0.023)	***	/	***	***	0.649 (0.016)	***	/	***	***	
A. h	0.784 (0.044)	***	***	/	ns	0.745 (0.073)	ns	***	/	ns	0.703 (0.053)	ns	***	/	***	0.782 (0.055)	***	***	/	ns	0.790 (0.023)	***	***	/	***	
P. a	0.792 (0.031)	***	***	ns	/	0.755 (0.039)	**	***	ns	/	0.773 (0.040)	***	***	***	/	0.774 (0.019)	***	***	ns	/	0.831 (0.024)	***	***	***	/	
OKTOBAR																										
Fv/Fm		Pančevo					Smederevo					Obrenovac					Beograd					Kontrola				
Vrsta	M(SD)	P(I)	P(II)	A.	P.a	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	
P(I)	0.543 (0.028)	/	***	***	***	0.576 (0.034)	/	***	***	***	0.618 (0.028)	/	***	***	***	0.581 (0.024)	/	ns	***	***	0.692 (0.028)	/	***	***	***	
P(II)	0.482 (0.025)	***	/	***	***	0.478 (0.028)	***	/	***	***	0.561 (0.025)	***	/	***	***	0.563 (0.026)	ns	/	***	***	0.628 (0.027)	***	/	***	***	
A. h	0.780 (0.024)	***	***	/	ns	0.745 (0.043)	***	***	/	***	0.777 (0.034)	***	***	/	ns	0.726 (0.051)	***	***	/	***	0.790 (0.021)	***	***	/	ns	
P. a	0.766 (0.024)	***	***	ns	/	0.666 (0.057)	***	***	***	/	0.733 (0.078)	***	***	ns	/	0.807 (0.017)	***	***	***	/	0.820 (0.016)	***	***	ns	/	

5.3.2 Sezonske promene u količini fotosintetičkih pigmenata u četinama i listovima drvenastih vrsta biljaka

Na osnovu dobijenih koncentracija pigmenata u listu urađena je detaljna analiza prostorne i vremenske dinamike sadržaja hlorofila (Chl *a*, Chl *b*, Chl *a+b* i Chl *a/b*) i ukupnih karotenoida. Takođe su analizirane i razlike u sadržaju hlorofila i karotenoida između vrsta na svakom staništu, po sezonskom preseku. Trofaktorska analiza varijansi (factorial ANOVA) je pokazala da sva tri posmatrana faktora varijabilnosti (vrsta, lokalitet i sezona) imaju značajan uticaj na razlike u sadržaju hlorofila i ukupnih karotenoida. Najznačajniji uticaj na količinu pigmenata (Chl *a*, Chl *b*, Chl *a+b* i Tot carot) ima vrsta, dok na odnos Chl *a/b* najznačajniju ulogu ima uticaj sezone ($p < 0.001$) (Tabela 41).

Tabela 41. Uticaj vrste, lokaliteta i sezone na razlike u sadržaju hlorofila u listovima ispitivanih biljaka (p-stepen značajnosti: * $p < 0.05$, ** $p < 0.001$, *** $p < 0.001$, ns–nema značajnih razlika)

Hlorofil		Vrsta	Lokalitet	Sezona	Vrsta* Lokalitet	Vrsta* Sezona	Lokalitet* Sezona	Vrsta* Lokalitet* Sezona
Chl <i>a</i>	F	2571.6	26.0	238.7	30.6	94.4	28.1	25.0
	p	***	***	***	***	***	***	***
Chl <i>b</i>	F	2693.8	5.7	393.8	13.0	137.0	20.1	15.3
	p	***	***	***	***	***	***	***
Chl <i>a+b</i>	F	2960.3	20.3	37.0	24.9	21.4	26.4	21.9
	p	***	***	***	***	***	***	***
Chl <i>a/b</i>	F	6.8	8.2	958.7	28.6	74.9	30.0	19.3
	p	***	***	***	***	***	***	***
Tot carot	F	1634.8	5.1	88.9	14.4	52.0	11.1	11.4
	p	***	***	***	***	***	***	***

U jednogodišnjim četinama *P. nigra* koncentracija Chl *a* se kretala u uskom opsegu od 0.684 mg/g izmerenih u Pančevu u avgustu do 1.657 mg/g izmerenih na kontrolnom staništu takođe u avgustu. U dvogodišnjim četinama se količina Chl *a* kretala od 0.643 mg/g izmerenih u junu u Beogradu do 1.298 mg/g u avgustu u Smederevu (Tabela 42). U proseku su jednogodišnje četine imale viši sadržaj Chl *a* u odnosu na dvogodišnje (Tabela 43), ali je u oba slučaja njegova koncentracija bila niska. U junu su maksimalne vrednosti Chl *a* u jednogodišnjim četinama *P. nigra* izmerene u Pančevu (0.927 mg/g) i Smederevu (1.120 mg/g), a u avgustu u parkovima u

Obrenovcu (1.437 mg/g), Beogradu (1.001 mg/g) i na kontrolnom staništu (1.657 mg/g). U dvogodišnjim četinama je najviši sadržaj Chl *a* izmeren u avgustu, izuzev u parku Pionir u Beogradu gde je bio u oktobru. U junu i oktobru na svim lokalitetima je sadržaj Chl *a* u jednogodišnjim četinama bio sličan (ns) u odnosu na kontrolno stanište, izuzev zabeleženih razlika u avgustu u parku u Smederevu ($p < 0.05$) i Pančevu ($p < 0.001$) (Tabela 42). Nasuprot tome, u dvogodišnjim četinama na svim lokalitetima tokom cele sezone je utvrđen sličan (ns) sadržaj Chl *a*.

Sadržaj Chl *a* je u listovima *A. hippocastanum* bio značajno viši u odnosu na četine *P. nigra* (Tabela 43) i kretao se u širokom opsegu od 2.446 mg/g izmerenih u parku u Smederevu do 9.289 mg/g izmerenih takođe u parku u Smederevu u avgustu (Tabela 42). Najniži sadržaj Chl *a* je izmeren u junu, a najviši u avgustu. U junu su značajne razlike u sadržaju Chl *a* utvrđene u Obrenovcu i Beogradu, u avgustu u Pančevu, Smederevu i Obrenovcu, dok u oktobru samo u Beogradu u odnosu na kontrolno stanište. Na ostalim lokalitetima u toku sezone je izmeren sličan sadržaj Chl *a* (Tabela 42).

Sadržaj Chl *a* u listovima *P. acerifolia* je bio viši u poređenju sa četinama *P. nigra*, a niži u poređenju sa listovima *A. hippocastanum* (Tabela 43). Najviše koncentracije Chl *a* na lokalitetu u Smederevu su izmerene u junu (2.955 mg/g), u Pančevu (4.320 mg/g) i Obrenovcu (3.114 mg/g) u avgustu, a na kontrolnom staništu (3.942 mg/g) u oktobru (Tabela 42). Tokom cele vegetacijske sezone vrednosti koncentracije Chl *a* u listovima *P. acerifolia* su bile slične (ns) u odnosu na kontrolno stanište, osim u junu u Beogradu ($p < 0.001$) i oktobru u Smederevu ($p < 0.001$).

U jednogodišnjim četinama *P. nigra* koncentracija Chl *b* se kretala u opsegu od 0.199 mg/g izmerenih u Pančevu u avgustu do 0.578 mg/g izmerenih na kontrolnom staništu takođe u avgustu. U dvogodišnjim četinama je opseg bio od 0.191 mg/g izmerenih u Pančevu do 0.722 mg/g takođe izmerenih na kontrolnom staništu u oktobru (Tabela 44). Jednogodišnje četine su prosečno imale viši sadržaj Chl *b* u poređenju sa jednogodišnjim (Tabela 45). U četinama obe godine su najviše koncentracije Chl *b* na lokalitetima u Pančevu i Smederevu izmerene u junu, u Obrenovcu u avgustu, a jedino u Beogradu u oktobru. Četine *P. nigra* sa svih lokaliteta u toku cele vegetacijske sezone su imale sličan sadržaj Chl *b* (Tabela 44).

U listovima *A. hippocastanum* Chl *b* se kretao od 1.272 mg/g na kontrolnom staništu u oktobru do maksimalno izmerenih 3.698 mg/g u Beogradu u junu, i bio je značajno viši u odnosu na četine *P. nigra* (Tabela 45). Najveći sadržaj Chl *b* je izmeren u junu na svim lokalitetima, i uglavnom je imao opadajuću sezonsku distribuciju. Sadržaj Chl *b* tokom sezone je najčešće bio sličan (ns) sadržaju sa kontrolnog staništa, izuzev značajnih razlika ($p < 0.001$) koje su zabeležene u Beogradu u junu, Obrenovcu u avgustu i Pančevu u oktobru (Tabela 44).

Sadržaj Chl *b* u listovima *P. acerifolia* je bio viši u poređenju sa četinama *P. nigra*, a niži u poređenju sa listovima *A. hippocastanum* (Tabela 45), i kretao se u opsegu od 0.313 mg/g izmerenih u oktobru u Smederevu do 2.146 mg/g takođe izmerenih u Smederevu u junu. Upravo je na ovom lokalitetu zabeležen najveći pad sadržaja Chl *b* od preko 85 %. Slično kao i u listovima *A. hippocastanum* i u listovima *P. acerifolia* je koncentracija Chl *b* uglavnom imala opadajuću sezonsku distribuciju (Tabela 44). U junu su na svim lokalitetima zabeležene značajne razlike ($p < 0.001$) u sadržaju Chl *b* u poređenju sa kontrolnim staništem, kao i u oktobru u Smederevu, ali su u avgustu i oktobru sve vrednosti bile slične (ns).

Sadržaj Chl *b* se u junu i avgustu poklapao sa dinamikom sadržaja Chl *a* kod svih vrsta, tj. u onim slučajevima gde su dostignute najviše, odnosno najniže vrednosti Chl *a*, dostignute su i najviše (najniže) vrednosti Chl *b*.

Sezonska dinamika ukupnog hlorofila u četinama *P. nigra* je bila slična dinamici sadržaja Chl *a*. U jednogodišnjim četinama *P. nigra*, opseg variranja ukupnog hlorofila se kretao od 0.884 mg/g izmerenih u avgustu u Pančevu, do 2.236 mg/g izmerenih na kontrolnom staništu takođe u avgustu. U dvogodišnjim četinama opseg je bio od 0.883 mg/g izmerenih u Pančevu u oktobru do 1.824 mg/g izmerenih u junu u Smederevu (Tabela 46). Sadržaj ukupnog hlorofila je i u jednogodišnjim i u dvogodišnjim četinama bio sličan (Tabela 47). U junu i oktobru u jednogodišnjim četinama *P. nigra* sadržaj Chl *a+b* je bio sličan (ns) u odnosu na kontrolno stanište, dok su razlike utvrđene u avgustu u Smederevu i Beogradu ($p < 0.01$) i u Pančevu ($p < 0.001$). Sadržaj Chl *a+b* u dvogodišnjim četinama je na svim lokalitetima tokom sezone bio sličan (ns) ukupnom sadržaju hlorofila sa kontrolnog staništa (Tabela 46).

Sadržaj Chl *a+b* listovima *A. hippocastanum* i *P. acerifolia* je bio sličan dinamici Chl *a*. Listovi *A. hippocastanum* su se izdvojili od druge dve ispitivane vrste

po najvećem sadržaju Chl *a+b* (Tabela 47), a opseg kretanja je bio od 5.422 mg/g izmerenih u junu u Smederevu do 11.701 mg/g takođe izmerenih u Smederevu u avgustu (Tabela 46). U parkovima u Pančevu i Smederevu u junu, Beogradu u avgustu, kao i Smederevu i Obrenovcu u oktobru su zabeležene značajne razlike ($p < 0.01$, $p < 0.001$) u ukupnom sadržaju hlorofila u listovima *A. hippocastanum* u odnosu na kontrolno stanište. Na svim ostalim lokalitetima nisu postojale razlike (ns).

Sadržaj Chl *a+b* u listovima *P. acerifolia* je bio viši u poređenju sa četinama *P. nigra*, a niži u poređenju sa listovima *A. hippocastanum* (Tabela 47), i kretao se u opsegu od 1.273 mg/g izmerenih u oktobru u Smederevu do 6.052 mg/g izmerenih u Beogradu takođe u oktobru (Tabela 46). Slične koncentracije Chl *a+b* (ns) u odnosu na kontrolno stanište u listovima *P. acerifolia* su izmerene na svim lokalitetima, osim u Smederevu i Beogradu u junu ($p < 0.001$), i u Smederevu ($p < 0.001$) u oktobru.

U četinama i listovima ispitivanih vrsta odnos Chl *a/b* je bio relativno ujednačen tokom cele sezone (Tabele 48, 49). Odnos Chl *a/b* u jednogodišnjim četinama *P. nigra* se kretao u opsegu od 1.784 u parku Pionir u Beogradu u oktobru do 3.459 u parku u Pančevu u avgustu. U dvogodišnjim se kretao od 1.315 na kontrolnom staništu u oktobru do 3.849 u parku u Smederevu takođe u oktobru (Tabela 48). Jednogodišnje četine su imale sličan odnos Chl *a/b* (ns) u poređenju sa četinama sa kontrolnog staništa tokom cele sezone, izuzev u oktobru u parkovima u Obrenovcu i Beogradu ($p < 0.05$). Nasuprot tome, razlike ($p < 0.001$) u odnosu Chl *a/b* u dvogodišnjim četinama su utvrđene u avgustu i u oktobru u poređenju sa kontrolnim staništem, dok je odnos Chl *a/b* u junu bio sličan (ns) (Tabela 48).

U listovima *A. hippocastanum* je utvrđena rastuća sezonska distribucija odnosa Chl *a/b*, sa izuzetkom parka u Smederevu gde su najviše vrednosti dostignute u avgustu zbog visoke koncentracije Chl *a*, što je uslovalo i veći odnos Chl *a/b*. Odnos Chl *a/b* se kretao u opsegu 0.821 u Smederevu u junu do 4.374 na kontrolnom staništu u oktobru (Tabela 48). U junu i avgustu su svi lokaliteti imali sličan (ns) odnos Chl *a/b* u poređenju sa kontrolnim staništem, ali su u oktobru u Pančevu i Smederevu ($p < 0.001$), i u Obrenovcu ($p < 0.05$) zabeležene razlike.

U listovima *P. acerifolia* je najniži odnos Chl *a/b* utvrđen u junu, i kretao se u opsegu 1.022 u Obrenovcu do 4.232 u Beogradu u avgustu (Tabela 48). U odnosu na kontrolno stanište tokom sezone nisu utvrđene razlike (ns) u odnosu Chl *a/b*, izuzev

parka u Obrenovcu u junu ($p < 0.001$) i parka u Beogradu u avgustu ($p < 0.001$) (Tabela 48). Odnos Chl *a/b* po sezonskim presecima je bio ujednačen kod svih ispitivanih vrsta (Tabela 49).

U četinama *P. nigra* sadržaj ukupnih karotenoida je bio relativno ujednačen tokom cele vegetacijske sezone i kretao se u uskom opsegu od 0.226 mg/g u Pančevu u oktobru do 0.455 mg/g u Obrenovcu u avgustu u jednogodišnjim četinama. U dvogodišnjim se kretao od 0.210 mg/g u Pančevu u oktobru do 394 mg/g u Smederevu u junu (Tabela 50). Opadajuća sezonska distribucija ukupnih karotenoida je utvrđena u jednogodišnjim četinama *P. nigra* sa lokaliteta u Pančevu, Smederevu i Beogradu, i u dvogodišnjim u Smederevu. Sadržaj ukupnih karotenoida je u četinama obe godine bio sličan (Tabela 51), a razlike nisu postojale ni u odnosu na kontrolno stanište u toku vegetacijske sezone (Tabela 50).

U listovima *A. hippocastanum* je zabeležena sezonska pravilnost u sadržaju ukupnih karotenoida, kod kojih su najniže vrednosti izmerene u junu, a najviše u avgustu, i kretale su se od 0.926 mg/g u Smederevu do 2.696 mg/g takođe izmerenih u Smederevu. Listovi *A. hippocastanum* su imali najviši sadržaj ukupnih karotenoida u odnosu na ostale ispitivane vrste (Tabela 51). Razlike u ukupnim karotenoidima u listovima *A. hippocastanum* su utvrđene u Beogradu ($p < 0.001$) u junu, Smederevu ($p < 0.001$) u avgustu, i u Beogradu ($p < 0.01$) u oktobru. Na svim ostalim lokalitetima sadržaj ukupnih karotenoida je bio sličan (ns) u odnosu na kontrolno stanište (Tabela 50).

Sadržaj ukupnih karotenoida u listovima *P. acerifolia* je bio viši u poređenju sa četinama *P. nigra*, a niži u poređenju sa listovima *A. hippocastanum* (Tabela 51), i kretao se u opsegu od 0.419 mg/g izmerenih u oktobru u Smederevu do 1.317 mg/g izmerenih u Pančevu takođe u oktobru (Tabela 50). Razlike u sadržaju ukupnih karotenoida u listovima *P. acerifolia* su utvrđene u Beogradu u junu ($p < 0.05$), Pančevu u avgustu ($p < 0.001$) i Smederevu u oktobru ($p < 0.001$). Na ostalim lokalitetima sadržaj ukupnih karotenoida je bio sličan (ns) kontrolnom staništu (Tabela 50).

Tabela 42. Sadržaj Chl *a* u četinama i listovima ispitivanih vrsta u Pančevu (P), Smederevu (S), Obrenovcu (O), Beogradu (B) i na kontrolnom staništu (K) tokom vegetacijske sezone (ANOVA, n=5, *p<0.05, **p<0.001, ***p<0.001, ns – nema značajnih razlika)

<i>Pinus nigra</i> jednogodišnje četine																		
Chl <i>a</i> (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
P	0.927 (0.124)	/	ns	ns	ns	ns	0.684 (0.162)	/	ns	**	ns	***	0.744 (0.126)	/	ns	ns	ns	ns
S	1.120 (0.103)	ns	/	ns	ns	ns	0.922 (0.106)	ns	/	ns	ns	*	0.824 (0.153)	ns	/	ns	ns	ns
O	0.890 (0.155)	ns	ns	/	ns	ns	1.437 (0.051)	**	ns	/	ns	ns	1.269 (0.175)	ns	ns	/	ns	ns
B	0.891 (0.137)	ns	ns	ns	/	ns	1.001 (0.082)	ns	ns	ns	/	ns	0.990 (0.160)	ns	ns	ns	/	ns
K	0.774 (0.098)	ns	ns	ns	ns	/	1.657 (0.260)	***	*	ns	ns	/	1.268 (0.090)	ns	ns	ns	ns	/
<i>Pinus nigra</i> dvogodišnje četine																		
Chl <i>a</i> (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
P	0.677 (0.055)	/	ns	ns	ns	ns	1.020 (0.055)	/	ns	ns	ns	ns	0.692 (0.164)	/	ns	ns	ns	ns
S	1.126 (0.152)	ns	/	ns	ns	ns	1.298 (0.120)	ns	/	ns	ns	ns	0.814 (0.084)	ns	/	ns	ns	ns
O	0.807 (0.128)	ns	ns	/	ns	ns	1.113 (0.153)	ns	ns	/	ns	ns	1.226 (0.316)	ns	ns	/	ns	ns
B	0.643 (0.074)	ns	ns	ns	/	ns	0.838 (0.113)	ns	ns	ns	/	ns	0.970 (0.200)	ns	ns	ns	/	ns
K	0.784 (0.143)	ns	ns	ns	ns	/	0.965 (0.122)	ns	ns	ns	ns	/	0.931 (0.165)	ns	ns	ns	ns	/
<i>Aesculus hippocastanum</i>																		
Chl <i>a</i> (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
P	3.197 (0.437)	/	**	***	***	ns	5.731 (0.437)	/	***	***	***	***	5.906 (0.341)	/	ns	ns	***	ns
S	2.446 (0.334)	**	/	***	***	ns	9.289 (0.332)	***	/	***	***	***	5.410 (0.377)	ns	/	ns	***	ns
O	4.287 (0.177)	***	***	/	***	***	4.490 (0.432)	***	***	/	***	***	5.905 (0.242)	ns	ns	/	***	ns
B	5.607 (0.533)	***	***	***	/	***	7.290 (0.372)	***	***	***	/	ns	7.003 (0.605)	***	***	***	/	***
K	2.751 (0.293)	ns	ns	***	***	/	6.687 (0.401)	***	***	***	ns	/	5.568 (0.389)	ns	ns	ns	***	/
<i>Platanus acerifolia</i>																		
Chl <i>a</i> (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
P	2.380 (0.377)	/	ns	ns	*	ns	4.320 (0.889)	/	***	**	**	ns	4.133 (0.195)	/	***	*	ns	ns
S	2.955 (0.450)	ns	/	*	ns	ns	2.556 (0.400)	***	/	ns	ns	ns	0.959 (0.221)	***	/	***	***	***
O	1.962 (0.632)	ns	*	/	***	ns	3.114 (0.450)	**	ns	/	ns	ns	3.089 (0.532)	*	***	/	***	ns
B	3.391 (0.317)	*	ns	***	/	***	3.137 (0.333)	**	ns	ns	/	ns	4.685 (1.012)	ns	***	***	/	ns
K	2.028 (0.496)	ns	ns	ns	***	/	3.421 (0.952)	ns	ns	ns	ns	/	3.942 (0.519)	ns	***	ns	ns	/

Tabela 43. Razlike u sadržaju Chl *a* u jednogodišnjim četinama *P. nigra* (P(I)), dvogodišnjim četinama *P. nigra* (P(II)), *A. hippocastanum* (A.h) i *P. acerifolia* (P.a) u Pančevu, Smederevu, Obrenovcu, Beogradu i na kontrolnom staništu tokom vegetacijske sezone (ANOVA, n=5, *p<0.05, **p<0.001, ***p<0.001, ns – nema značajnih razlika)

JUN																										
Chl <i>a</i> (mg/g)		Pančevo					Smederevo					Obrenovac					Beograd					Kontrola				
Vrsta	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	
P(I)	0.927 (0.124)	/	ns	***	***	1.120 (0.103)	/	ns	***	***	0.890 (0.155)	/	ns	***	**	0.891 (0.137)	/	ns	***	***	0.774 (0.098)	/	ns	***	***	
P(II)	0.677 (0.055)	ns	/	***	***	1.126 (0.152)	ns	/	***	***	0.807 (0.128)	ns	/	***	**	0.643 (0.074)	ns	/	***	***	0.784 (0.143)	ns	/	***	***	
A. h	3.197 (0.437)	***	***	/	ns	2.446 (0.334)	***	***	/	ns	4.287 (0.177)	***	***	/	***	5.607 (0.533)	***	***	/	***	2.751 (0.293)	***	***	/	ns	
P. a	2.380 (0.377)	***	***	ns	/	2.955 (0.450)	***	***	ns	/	1.962 (0.632)	**	**	***	/	3.391 (0.317)	***	***	***	/	2.028 (0.496)	***	***	ns	/	
AVGUST																										
Chl <i>a</i> (mg/g)		Pančevo					Smederevo					Obrenovac					Beograd					Kontrola				
Vrsta	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	
P(I)	0.684 (0.162)	/	ns	***	***	0.922 (0.106)	/	ns	***	***	1.437 (0.051)	/	ns	***	***	1.001 (0.082)	/	ns	***	***	1.657 (0.260)	/	*	***	***	
P(II)	1.020 (0.053)	ns	/	***	***	1.298 (0.120)	ns	/	***	***	1.113 (0.153)	ns	/	***	***	0.838 (0.113)	ns	/	***	***	0.965 (0.122)	*	/	***	***	
A. h	5.731 (0.437)	***	***	/	***	9.289 (0.332)	***	***	/	***	4.490 (0.432)	***	***	/	***	7.290 (0.372)	***	***	/	***	6.687 (0.401)	***	***	/	***	
P. a	4.320 (0.889)	***	***	***	/	2.556 (0.400)	***	***	***	/	3.114 (0.450)	***	***	***	/	3.137 (0.333)	***	***	***	/	3.421 (0.952)	***	***	***	/	
OKTOBAR																										
Chl <i>a</i> (mg/g)		Pančevo					Smederevo					Obrenovac					Beograd					Kontrola				
Vrsta	M(SD)	P(I)	P(II)	A.	P.a	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	
P(I)	0.744 (0.126)	/	ns	***	***	0.824 (0.153)	/	ns	***	ns	1.269 (0.175)	/	ns	***	***	0.990 (0.160)	/	ns	***	***	1.268 (0.090)	/	ns	***	***	
P(II)	0.692 (0.164)	ns	/	***	***	0.814 (0.084)	ns	/	***	ns	1.226 (0.316)	ns	/	***	***	0.970 (0.200)	ns	/	***	***	0.931 (0.165)	ns	/	***	***	
A. h	5.906 (0.341)	***	***	/	***	5.410 (0.377)	***	***	/	***	5.905 (0.242)	***	***	/	***	7.003 (0.605)	***	***	/	***	5.568 (0.389)	***	***	/	***	
P. a	4.133 (0.195)	***	***	***	/	0.959 (0.221)	ns	ns	***	/	3.089 (0.532)	***	***	***	/	4.685 (1.012)	***	***	***	/	3.942 (0.519)	***	***	***	/	

Tabela 44. Sadržaj Chl *b* u četinama i listovima ispitivanih vrsta u Pančevu (P), Smederevu (S), Obrenovcu (O), Beogradu (B) i na kontrolnom staništu (K) tokom vegetacijske sezone (ANOVA, n=5, *p<0.05, **p<0.001, ***p<0.001, ns – nema značajnih razlika)

<i>Pinus nigra</i> jednogodišnje četine																		
Chl <i>b</i> (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
P	0.409 (0.076)	/	ns	ns	ns	ns	0.199 (0.054)	/	ns	ns	ns	ns	0.235 (0.035)	/	ns	ns	ns	ns
S	0.487 (0.037)	ns	/	ns	ns	ns	0.373 (0.134)	ns	/	ns	ns	ns	0.272 (0.079)	ns	/	ns	ns	ns
O	0.457 (0.033)	ns	ns	/	ns	ns	0.491 (0.029)	ns	ns	/	ns	ns	0.381 (0.056)	ns	ns	/	ns	ns
B	0.405 (0.098)	ns	ns	ns	/	ns	0.334 (0.031)	ns	ns	ns	/	ns	0.557 (0.070)	ns	ns	ns	/	ns
K	0.375 (0.123)	ns	ns	ns	ns	/	0.578 (0.096)	ns	ns	ns	ns	/	0.505 (0.081)	ns	ns	ns	ns	/
<i>Pinus nigra</i> dvogodišnje četine																		
Chl <i>b</i> (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
P	0.405 (0.077)	/	ns	ns	ns	ns	0.339 (0.023)	/	ns	ns	ns	ns	0.191 (0.030)	/	ns	ns	ns	ns
S	0.697 (0.081)	ns	/	ns	ns	ns	0.420 (0.033)	ns	/	ns	ns	ns	0.212 (0.027)	ns	/	ns	ns	ns
O	0.350 (0.082)	ns	ns	/	ns	ns	0.387 (0.076)	ns	ns	/	ns	ns	0.333 (0.108)	ns	ns	/	ns	ns
B	0.303 (0.075)	ns	ns	ns	/	ns	0.248 (0.040)	ns	ns	ns	/	ns	0.495 (0.042)	ns	ns	ns	/	ns
K	0.337 (0.061)	ns	ns	ns	ns	/	0.551 (0.036)	ns	ns	ns	ns	/	0.722 (0.180)	ns	ns	ns	ns	/
<i>Aesculus hippocastanum</i>																		
Chl <i>b</i> (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
P	3.044 (0.275)	/	ns	ns	**	ns	2.201 (0.075)	/	ns	***	ns	ns	2.138 (0.095)	/	ns	*	ns	***
S	2.976 (0.139)	ns	/	ns	***	ns	2.412 (0.091)	ns	/	***	ns	ns	1.859 (0.064)	ns	/	ns	ns	ns
O	3.153 (0.153)	ns	ns	/	*	ns	1.585 (0.143)	***	***	/	***	***	1.653 (0.079)	*	ns	/	ns	ns
B	3.698 (0.101)	**	***	*	/	***	2.134 (0.149)	ns	ns	***	/	ns	1.843 (0.081)	ns	ns	ns	/	ns
K	3.168 (0.148)	ns	ns	ns	***	/	2.146 (0.131)	ns	ns	***	ns	/	1.272 (0.071)	***	ns	ns	ns	/
<i>Platanus acerifolia</i>																		
Chl <i>b</i> (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
P	1.724 (0.185)	/	*	ns	ns	***	1.380 (0.296)	/	***	ns	***	ns	1.184 (0.021)	/	***	ns	ns	ns
S	2.146 (0.460)	*	/	ns	ns	***	0.762 (0.111)	***	/	ns	ns	ns	0.313 (0.071)	***	/	***	***	***
O	1.892 (0.452)	ns	ns	/	ns	***	1.087 (0.209)	ns	ns	/	ns	ns	0.840 (0.184)	ns	***	/	***	ns
B	1.953 (0.183)	ns	ns	ns	/	***	0.741 (0.081)	***	ns	ns	/	ns	1.366 (0.347)	ns	***	***	/	ns
K	1.018 (0.234)	***	***	***	***	/	1.095 (0.344)	ns	ns	ns	ns	/	1.202 (0.165)	ns	***	ns	ns	/

Tabela 45. Razlike u sadržaju Chl *b* u jednogodišnjim četinama *P. nigra* (P(I)), dvogodišnjim četinama *P. nigra* (P(II)), *A. hippocastanum* (A.h) i *P. acerifolia* (P.a) u Pančevu, Smederevu, Obrenovcu, Beogradu i na kontrolnom staništu tokom vegetacijske sezone (ANOVA, n=5, *p<0.05, **p<0.001, ***p<0.001, ns – nema značajnih razlika)

JUN																										
Chl <i>b</i> (mg/g)		Pančevo					Smederevo					Obrenovac					Beograd					Kontrola				
Vrsta	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	
<i>P(I)</i>	0.409 (0.076)	/	ns	***	***	0.487 (0.037)	/	ns	***	***	0.457 (0.033)	/	ns	***	***	0.405 (0.098)	/	ns	***	***	0.375 (0.123)	/	ns	***	***	
<i>P(II)</i>	0.405 (0.077)	ns	/	***	***	0.697 (0.081)	ns	/	***	***	0.350 (0.082)	ns	/	***	***	0.303 (0.075)	ns	/	***	***	0.337 (0.061)	ns	/	***	***	
<i>A. h</i>	3.044 (0.275)	***	***	/	***	2.976 (0.139)	***	***	/	***	3.153 (0.153)	***	***	/	***	3.698 (0.101)	***	***	/	***	3.168 (0.148)	***	***	/	***	
<i>P. a</i>	1.724 (0.185)	***	***	***	/	2.146 (0.460)	***	***	***	/	1.892 (0.452)	***	***	***	/	1.953 (0.183)	***	***	***	/	1.018 (0.234)	***	***	***	/	
AVGUST																										
Chl <i>b</i> (mg/g)		Pančevo					Smederevo					Obrenovac					Beograd					Kontrola				
Vrsta	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	
<i>P(I)</i>	0.199 (0.054)	/	ns	***	***	0.373 (0.134)	/	ns	***	ns	0.491 (0.029)	/	ns	***	***	0.334 (0.031)	/	ns	***	ns	0.578 (0.096)	/	ns	***	***	
<i>P(II)</i>	0.339 (0.023)	ns	/	***	***	0.420 (0.033)	ns	/	***	ns	0.387 (0.076)	ns	/	***	***	0.248 (0.040)	ns	/	***	**	0.551 (0.036)	ns	/	***	***	
<i>A. h</i>	2.201 (0.075)	***	***	/	***	2.976 (0.139)	***	***	/	***	1.585 (0.143)	***	***	/	**	2.134 (0.149)	***	***	/	***	2.146 (0.131)	***	***	/	***	
<i>P. a</i>	1.380 (0.296)	***	***	***	/	0.762 (0.111)	ns	ns	***	/	1.087 (0.209)	***	***	**	/	0.741 (0.081)	ns	**	***	/	1.095 (0.344)	***	***	***	/	
OKTOBAR																										
Chl <i>b</i> (mg/g)		Pančevo					Smederevo					Obrenovac					Beograd					Kontrola				
Vrsta	M(SD)	P(I)	P(II)	A.	P.a	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	
<i>P(I)</i>	0.235 (0.035)	/	ns	***	***	0.272 (0.079)	/	ns	***	ns	0.381 (0.056)	/	ns	***	**	0.557 (0.077)	/	ns	***	***	0.505 (0.081)	/	ns	***	***	
<i>P(II)</i>	0.191 (0.030)	ns	/	***	***	0.212 (0.027)	ns	/	***	ns	0.333 (0.108)	ns	/	***	***	0.495 (0.042)	ns	/	***	***	0.722 (0.180)	ns	/	***	**	
<i>A. h</i>	2.138 (0.095)	***	***	/	***	1.859 (0.064)	***	***	/	***	1.653 (0.079)	***	***	/	***	1.843 (0.081)	***	***	/	**	1.272 (0.071)	***	***	/	ns	
<i>P. a</i>	1.184 (0.021)	***	***	***	/	0.313 (0.071)	ns	ns	***	/	0.840 (0.184)	**	***	***	/	1.366 (0.347)	***	***	**	/	1.202 (0.165)	***	**	ns	/	

Tabela 46. Sadržaj Chl *a+b* u četinama i listovima ispitivanih vrsta u Pančevu (P), Smederevu (S), Obrenovcu (O), Beogradu (B) i na kontrolnom staništu (K) tokom vegetacijske sezone (ANOVA, n=5, *p<0.05, **p<0.001, ***p<0.001, ns – nema značajnih razlika)

<i>Pinus nigra</i> jednogodišnje četine																		
Chl <i>a+b</i> (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
P	1.337 (0.184)	/	ns	ns	ns	ns	0.884 (0.214)	/	ns	***	ns	***	0.979 (0.161)	/	ns	ns	ns	ns
S	1.608 (0.115)	ns	/	ns	ns	ns	1.295 (0.223)	ns	/	ns	ns	**	1.096 (0.230)	ns	/	ns	ns	ns
O	1.347 (0.173)	ns	ns	/	ns	ns	1.929 (0.077)	***	ns	/	ns	ns	1.651 (0.228)	ns	ns	/	ns	ns
B	1.296 (0.215)	ns	ns	ns	/	ns	1.335 (0.112)	ns	ns	ns	/	**	1.548 (0.208)	ns	ns	ns	/	ns
K	1.150 (0.130)	ns	ns	ns	ns	/	2.236 (0.346)	***	**	ns	**	/	1.773 (0.093)	ns	ns	ns	ns	/
<i>Pinus nigra</i> dvogodišnje četine																		
Chl <i>a+b</i> (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
P	1.083 (0.087)	/	ns	ns	ns	ns	1.359 (0.076)	/	ns	ns	ns	ns	0.883 (0.190)	/	ns	ns	ns	ns
S	1.824 (0.208)	ns	/	ns	*	ns	1.719 (0.153)	ns	/	ns	ns	ns	1.026 (0.109)	ns	/	ns	ns	ns
O	1.158 (0.208)	ns	ns	/	ns	ns	1.500 (0.228)	ns	ns	/	ns	ns	1.560 (0.424)	ns	ns	/	ns	ns
B	0.947 (0.130)	ns	*	ns	/	ns	1.086 (0.153)	ns	ns	ns	/	ns	1.465 (0.231)	ns	ns	ns	/	ns
K	1.122 (0.202)	ns	ns	ns	ns	/	1.517 (0.155)	ns	ns	ns	ns	/	1.654 (0.329)	ns	ns	ns	ns	/
<i>Aesculus hippocastanum</i>																		
Chl <i>a+b</i> (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
P	6.242 (0.630)	/	*	***	***	ns	7.933 (0.508)	/	***	***	***	**	8.045 (0.289)	/	ns	ns	ns	***
S	5.422 (0.420)	*	/	***	***	ns	11.701 (0.391)	***	/	***	***	***	7.270 (0.399)	ns	/	ns	***	ns
O	7.441 (0.327)	***	***	/	***	***	6.075 (0.557)	***	***	/	***	***	7.559 (0.311)	ns	ns	/	***	ns
B	9.305 (0.454)	***	***	***	/	***	9.424 (0.486)	***	***	***	/	ns	8.847 (0.594)	ns	***	***	/	***
K	5.920 (0.257)	ns	ns	***	***	/	8.833 (0.517)	**	***	***	ns	/	6.841 (0.450)	***	ns	ns	***	/
<i>Platanus acerifolia</i>																		
Chl <i>a+b</i> (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
P	4.104 (0.558)	/	ns	ns	ns	ns	5.700 (1.182)	/	***	**	***	ns	5.317 (0.210)	/	***	*	ns	ns
S	5.101 (0.857)	ns	/	ns	ns	***	3.318 (0.506)	***	/	ns	ns	ns	1.273 (0.288)	***	/	***	***	***
O	3.854 (1.082)	ns	ns	/	**	ns	4.201 (0.653)	**	ns	/	ns	ns	3.930 (0.715)	*	***	/	***	ns
B	5.345 (0.464)	ns	ns	**	/	***	3.878 (0.414)	***	ns	ns	/	ns	6.052 (1.358)	ns	***	***	/	ns
K	3.046 (0.706)	ns	***	ns	***	/	4.516 (1.296)	ns	ns	ns	ns	/	5.144 (0.683)	ns	***	ns	ns	/

Tabela 47. Razlike u sadržaju Chl *a+b* u jednogodišnjim četinama *P. nigra* (P(I)), dvogodišnjim četinama *P. nigra* (P(II)), *A. hippocastanum* (A.h) i *P. acerifolia* (P.a) u Pančevu, Smederevu, Obrenovcu, Beogradu i na kontrolnom staništu tokom vegetacijske sezone (ANOVA, n=5, *p<0.05, **p<0.001, ***p<0.001, ns – nema značajnih razlika)

JUN																										
Chl <i>a+b</i> (mg/g)		Pančevo					Smederevo					Obrenovac					Beograd					Kontrola				
Vrsta	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	
P(I)	1.337 (0.184)	/	ns	***	***	1.608 (0.115)	/	ns	***	***	1.347 (0.173)	/	ns	***	***	1.296 (0.215)	/	ns	***	***	1.150 (0.130)	/	ns	***	***	
P(II)	1.083 (0.087)	ns	/	***	***	1.824 (0.208)	ns	/	***	***	1.158 (0.208)	ns	/	***	***	0.947 (0.130)	ns	/	***	***	1.122 (0.202)	ns	/	***	***	
A. h	6.242 (0.630)	***	***	/	***	5.422 (0.420)	***	***	/	ns	7.441 (0.327)	***	***	/	***	9.305 (0.454)	***	***	/	***	5.920 (0.257)	***	***	/	***	
P. a	4.104 (0.558)	***	***	***	/	5.101 (0.857)	***	***	ns	/	3.854 (1.082)	***	***	***	/	5.345 (0.464)	***	***	***	/	3.046 (0.706)	***	***	***	/	
AVGUST																										
Chl <i>a+b</i> (mg/g)		Pančevo					Smederevo					Obrenovac					Beograd					Kontrola				
Vrsta	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	
P(I)	0.884 (0.214)	/	ns	***	***	1.295 (0.223)	/	ns	***	***	1.929 (0.077)	/	ns	***	***	1.335 (0.112)	/	ns	***	***	2.236 (0.346)	/	ns	***	***	
P(II)	1.359 (0.076)	ns	/	***	***	1.719 (0.153)	ns	/	***	***	1.500 (0.228)	ns	/	***	***	1.086 (0.153)	ns	/	***	***	1.517 (0.155)	ns	/	***	***	
A. h	7.933 (0.508)	***	***	/	***	11.701 (0.391)	***	***	/	***	6.075 (0.557)	***	***	/	***	9.424 (0.486)	***	***	/	***	8.833 (0.517)	***	***	/	***	
P. a	5.700 (1.182)	***	***	***	/	3.318 (0.506)	***	***	***	/	4.201 (0.653)	***	***	***	/	3.878 (0.414)	***	***	***	/	4.516 (1.296)	***	***	***	/	
OKTOBAR																										
Chl <i>a+b</i> (mg/g)		Pančevo					Smederevo					Obrenovac					Beograd					Kontrola				
Vrsta	M(SD)	P(I)	P(II)	A.	P.a	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	
P(I)	0.979 (0.161)	/	ns	***	***	1.096 (0.230)	/	ns	***	ns	1.651 (0.228)	/	ns	***	***	1.548 (0.208)	/	ns	***	***	1.773 (0.093)	/	ns	***	***	
P(II)	0.883 (0.190)	ns	/	***	***	1.026 (0.109)	ns	/	***	ns	1.560 (0.424)	ns	/	***	***	1.465 (0.231)	ns	/	***	***	1.654 (0.329)	ns	/	***	***	
A. h	8.045 (0.289)	***	***	/	***	7.270 (0.399)	***	***	/	***	7.559 (0.311)	***	***	/	***	8.847 (0.594)	***	***	/	***	6.841 (0.450)	***	***	/	***	
P. a	5.317 (0.210)	***	***	***	/	1.273 (0.288)	ns	ns	***	/	3.930 (0.715)	***	***	***	/	6.052 (1.358)	***	***	***	/	5.144 (0.683)	***	***	***	/	

Tabela 48. Sadržaj Chl *a/b* u četinama i listovima ispitivanih vrsta u Pančevu (P), Smederevu (S), Obrenovcu (O), Beogradu (B) i na kontrolnom staništu (K) tokom vegetacijske sezone (ANOVA, n=5, *p<0.05, **p<0.001, ***p<0.001, ns – nema značajnih razlika)

<i>Pinus nigra</i> jednogodišnje četine																		
Chl <i>a/b</i>	JUN						AVGUST						OKTOBAR					
	M (SD)	P	S	O	B	K	M (SD)	P	S	O	B	K	M (SD)	P	S	O	B	K
P	2.295 (0.313)	/	ns	ns	ns	ns	3.459 (0.229)	/	**	ns	ns	ns	3.158 (0.135)	/	ns	ns	***	ns
S	2.307 (0.247)	ns	/	ns	ns	ns	2.638 (0.636)	**	/	ns	ns	ns	3.123 (0.444)	ns	/	ns	***	ns
O	1.947 (0.286)	ns	ns	/	ns	ns	2.927 (0.103)	ns	ns	/	ns	ns	3.332 (0.169)	ns	ns	/	***	*
B	2.278 (0.461)	ns	ns	ns	/	ns	2.999 (0.101)	ns	ns	ns	/	ns	1.784 (0.268)	***	***	***	/	*
K	2.229 (0.679)	ns	ns	ns	ns	/	2.879 (0.262)	ns	ns	ns	ns	/	2.587 (0.607)	ns	ns	*	*	/
<i>Pinus nigra</i> dvogodišnje četine																		
Chl <i>a/b</i>	JUN						AVGUST						OKTOBAR					
	M (SD)	P	S	O	B	K	M (SD)	P	S	O	B	K	M (SD)	P	S	O	B	K
P	1.715 (0.310)	/	ns	ns	ns	ns	3.013 (0.098)	/	ns	ns	ns	***	3.603 (0.448)	/	ns	ns	***	***
S	1.620 (0.185)	ns	/	ns	ns	ns	3.085 (0.070)	ns	/	ns	ns	***	3.849 (0.229)	ns	/	ns	***	***
O	2.340 (0.240)	ns	ns	/	ns	ns	2.895 (0.159)	ns	ns	/	ns	***	3.733 (0.235)	ns	ns	/	***	***
B	2.207 (0.484)	ns	ns	ns	/	ns	3.395 (0.162)	ns	ns	ns	/	***	1.952 (0.320)	***	***	***	/	ns
K	2.321 (0.121)	ns	ns	ns	ns	/	1.746 (0.133)	***	***	***	***	/	1.315 (0.197)	***	***	***	ns	/
<i>Aesculus hippocastanum</i>																		
Chl <i>a/b</i>	JUN						AVGUST						OKTOBAR					
	M (SD)	P	S	O	B	K	M (SD)	P	S	O	B	K	M (SD)	P	S	O	B	K
P	1.051 (0.125)	/	ns	ns	ns	ns	2.601 (0.120)	/	***	ns	**	ns	2.770 (0.256)	/	ns	*	***	***
S	0.821 (0.099)	ns	/	ns	ns	ns	3.853 (0.134)	***	/	***	ns	ns	2.911 (0.202)	ns	/	ns	**	***
O	1.359 (0.019)	ns	ns	/	ns	ns	2.834 (0.151)	ns	***	/	ns	ns	3.572 (0.093)	*	ns	/	ns	*
B	1.519 (0.181)	ns	ns	ns	/	ns	3.422 (0.179)	**	ns	ns	/	ns	3.807 (0.411)	***	**	ns	/	ns
K	0.871 (0.114)	ns	ns	ns	ns	/	3.117 (0.102)	ns	ns	ns	ns	/	4.374 (0.171)	***	***	*	ns	/
<i>Platanus acerifolia</i>																		
Chl <i>a/b</i>	JUN						AVGUST						OKTOBAR					
	M (SD)	P	S	O	B	K	M (SD)	P	S	O	B	K	M (SD)	P	S	O	B	K
P	1.376 (0.082)	/	ns	ns	ns	ns	3.139 (0.143)	/	ns	ns	***	ns	3.489 (0.134)	/	ns	ns	ns	ns
S	1.400 (0.207)	ns	/	ns	ns	ns	3.353 (0.158)	ns	/	ns	***	ns	3.057 (0.284)	ns	/	ns	ns	ns
O	1.022 (0.085)	ns	ns	/	*	***	2.890 (0.192)	ns	ns	/	***	ns	3.704 (0.199)	ns	ns	/	ns	ns
B	1.740 (0.131)	ns	ns	*	/	ns	4.232 (0.044)	***	***	***	/	***	3.460 (0.182)	ns	ns	ns	/	ns
K	2.001 (0.278)	ns	ns	***	ns	/	3.158 (0.155)	ns	ns	ns	***	/	3.282 (0.066)	ns	ns	ns	ns	/

Tabela 49. Razlike u sadržaju Chl *a/b* u jednogodišnjim četinama *P. nigra* (P(I)), dvogodišnjim četinama *P. nigra* (P(II)), *A. hippocastanum* (A.h) i *P. acerifolia* (P.a) u Pančevu, Smederevu, Obrenovcu, Beogradu i na kontrolnom staništu tokom vegetacijske sezone (ANOVA, n=5, *p<0.05, **p<0.001, ***p<0.001, ns – nema značajnih razlika)

JUN																										
Chl <i>a/b</i>		Pančevo					Smederevo					Obrenovac					Beograd					Kontrola				
Vrsta	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	
P(I)	2.295 (0.313)	/	ns	***	***	2.307 (0.247)	/	ns	***	***	1.947 (0.286)	/	ns	ns	***	2.278 (0.461)	/	ns	*	ns	2.229 (0.679)	/	ns	***	ns	
P(II)	1.715 (0.310)	ns	/	ns	ns	1.620 (0.185)	ns	/	*	ns	2.340 (0.240)	ns	/	***	***	2.207 (0.484)	ns	/	ns	ns	2.321 (0.121)	ns	/	***	ns	
A. h	1.051 (0.125)	***	ns	/	ns	0.821 (0.099)	***	*	/	ns	1.359 (0.019)	ns	***	/	ns	1.519 (0.181)	*	ns	/	ns	0.871 (0.114)	***	***	/	***	
P. a	1.376 (0.082)	***	ns	ns	/	1.400 (0.207)	***	ns	ns	/	1.022 (0.085)	***	***	ns	/	1.740 (0.131)	ns	ns	ns	/	2.001 (0.278)	ns	ns	***	/	
AVGUST																										
Chl <i>a/b</i>		Pančevo					Smederevo					Obrenovac					Beograd					Kontrola				
Vrsta	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	
P(I)	3.459 (0.229)	/	ns	**	ns	2.638 (0.636)	/	ns	***	*	2.927 (0.103)	/	ns	ns	ns	2.999 (0.101)	/	ns	ns	***	2.879 (0.262)	/	***	ns	ns	
P(II)	3.013 (0.098)	ns	/	ns	ns	3.085 (0.070)	ns	/	*	ns	2.895 (0.159)	ns	/	ns	ns	3.395 (0.162)	ns	/	ns	**	1.746 (0.133)	***	/	***	***	
A. h	2.601 (0.120)	**	ns	/	ns	3.853 (0.134)	***	*	/	ns	2.834 (0.151)	ns	ns	/	ns	3.422 (0.179)	ns	ns	/	**	3.117 (0.102)	ns	***	/	ns	
P. a	3.139 (0.143)	ns	ns	ns	/	3.353 (0.158)	*	ns	ns	/	2.890 (0.192)	ns	ns	ns	/	4.232 (0.044)	***	**	**	/	3.158 (0.155)	ns	***	ns	/	
OKTOBAR																										
Chl <i>a/b</i>		Pančevo					Smederevo					Obrenovac					Beograd					Kontrola				
Vrsta	M(SD)	P(I)	P(II)	A.	P.a	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	
P(I)	3.158 (0.135)	/	ns	ns	ns	3.123 (0.444)	/	ns	ns	ns	3.332 (0.169)	/	ns	ns	ns	1.784 (0.268)	/	ns	***	***	2.587 (0.607)	/	***	***	ns	
P(II)	3.603 (0.448)	ns	/	**	ns	3.849 (0.229)	ns	/	***	**	3.733 (0.235)	ns	/	ns	ns	1.952 (0.320)	ns	/	***	***	1.315 (0.197)	***	/	***	***	
A. h	2.770 (0.256)	ns	**	/	*	2.911 (0.202)	ns	***	/	ns	3.572 (0.093)	ns	ns	/	ns	3.807 (0.411)	***	***	/	ns	4.374 (0.171)	***	***	/	***	
P. a	3.489 (0.134)	ns	ns	*	/	3.057 (0.284)	ns	**	ns	/	3.704 (0.199)	ns	ns	ns	/	3.460 (0.182)	***	***	ns	/	3.282 (0.066)	ns	***	***	/	

Tabela 50. Sadržaj ukupnih karotenoida u četinama i listovima ispitivanih vrsta u Pančevu (P), Smederevu (S), Obrenovcu (O), Beogradu (B) i na kontrolnom staništu (K) tokom vegetacijske sezone (ANOVA, n=5, *p<0.05, **p<0.001, ***p<0.001, ns – nema značajnih razlika)

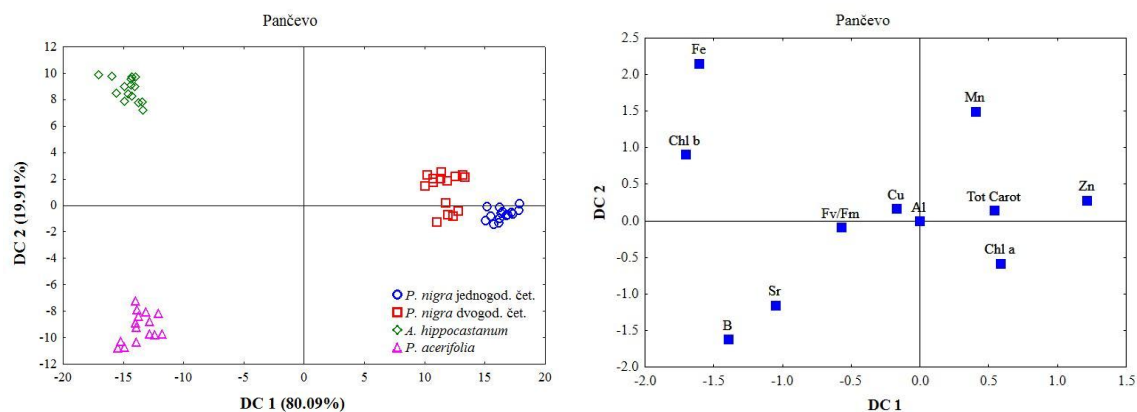
<i>Pinus nigra</i> jednogodišnje četine																		
Tot carot (mg/g)	JUN						AVGUST						OKTOBAR					
	M (SD)	P	S	O	B	K	M (SD)	P	S	O	B	K	M (SD)	P	S	O	B	K
P	0.308 (0.054)	/	ns	ns	ns	ns	0.247 (0.056)	/	ns	ns	ns	ns	0.226 (0.044)	/	ns	ns	ns	ns
S	0.359 (0.026)	ns	/	ns	ns	ns	0.278 (0.028)	ns	/	ns	ns	ns	0.245 (0.095)	ns	/	ns	ns	ns
O	0.338 (0.046)	ns	ns	/	ns	ns	0.455 (0.019)	ns	ns	/	ns	ns	0.370 (0.050)	ns	ns	/	ns	ns
B	0.315 (0.048)	ns	ns	ns	/	ns	0.311 (0.031)	ns	ns	ns	/	ns	0.299 (0.056)	ns	ns	ns	/	ns
K	0.288 (0.033)	ns	ns	ns	ns	/	0.416 (0.138)	ns	ns	ns	ns	/	0.329 (0.036)	ns	ns	ns	ns	/
<i>Pinus nigra</i> dvogodišnje četine																		
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
P	0.221 (0.015)	/	ns	ns	ns	ns	0.347 (0.024)	/	ns	ns	ns	ns	0.210 (0.055)	/	ns	ns	ns	ns
S	0.394 (0.051)	ns	/	ns	ns	ns	0.382 (0.034)	ns	/	ns	ns	ns	0.227 (0.047)	ns	/	ns	ns	ns
O	0.278 (0.051)	ns	ns	/	ns	ns	0.352 (0.050)	ns	ns	/	ns	ns	0.346 (0.099)	ns	ns	/	ns	ns
B	0.222 (0.027)	ns	ns	ns	/	ns	0.237 (0.042)	ns	ns	ns	/	ns	0.294 (0.066)	ns	ns	ns	/	ns
K	0.262 (0.051)	ns	ns	ns	ns	/	0.307 (0.050)	ns	ns	ns	ns	/	0.252 (0.070)	ns	ns	ns	ns	/
<i>Aesculus hippocastanum</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
P	1.136 (0.149)	/	ns	ns	ns	ns	1.620 (0.215)	/	***	ns	*	ns	1.598 (0.209)	/	ns	ns	ns	ns
S	0.926 (0.131)	ns	/	ns	***	ns	2.696 (0.305)	***	/	***	***	***	1.512 (0.145)	ns	/	ns	*	ns
O	1.239 (0.209)	ns	ns	/	ns	ns	1.633 (0.298)	ns	***	/	*	ns	1.571 (0.197)	ns	ns	/	ns	ns
B	1.459 (0.260)	ns	***	ns	/	***	1.960 (0.158)	*	***	*	/	ns	1.847 (0.152)	ns	*	ns	/	**
K	1.050 (0.186)	ns	ns	ns	***	/	1.852 (0.076)	ns	***	ns	ns	/	1.489 (0.135)	ns	ns	ns	**	/
<i>Platanus acerifolia</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
P	0.821 (0.111)	/	ns	ns	ns	ns	1.276 (0.255)	/	***	ns	***	***	1.317 (0.040)	/	***	ns	ns	ns
S	0.959 (0.147)	ns	/	ns	ns	ns	0.715 (0.075)	***	/	ns	ns	ns	0.419 (0.064)	***	/	***	***	***
O	0.722 (0.204)	ns	ns	/	ns	ns	1.055 (0.146)	ns	ns	/	ns	ns	1.001 (0.145)	ns	***	/	ns	ns
B	1.000 (0.097)	ns	ns	ns	/	*	0.851 (0.118)	***	ns	ns	/	ns	1.160 (0.220)	ns	***	ns	/	ns
K	0.626 (0.111)	ns	ns	ns	*	/	0.810 (0.165)	***	ns	ns	ns	/	1.012 (0.128)	ns	***	ns	ns	/

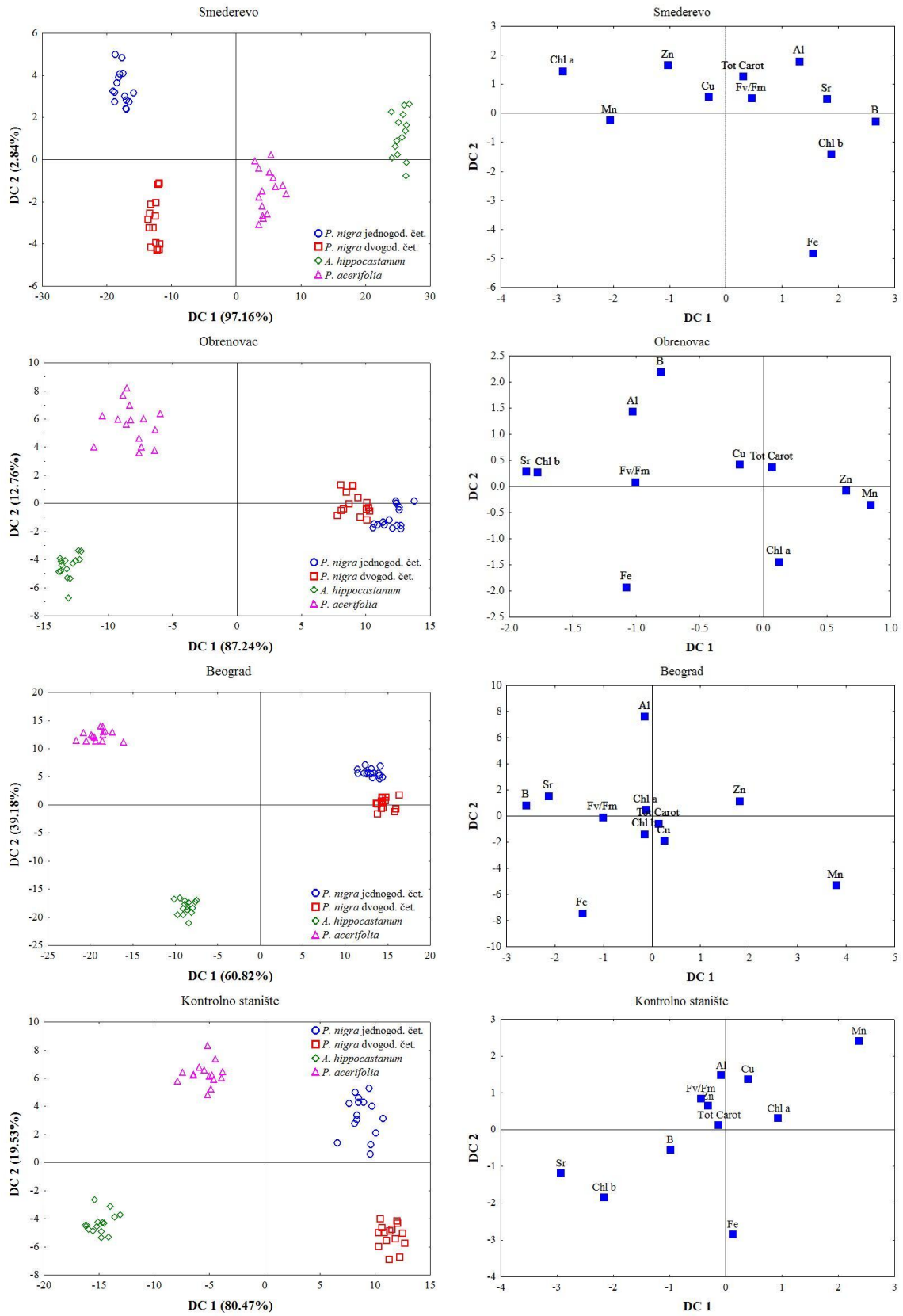
Tabela 51. Razlike u sadržaju ukupnih karotenoida u jednogodišnjim četinama *P. nigra* (P(I)), dvogodišnjim četinama *P. nigra* (P(II)), *A. hippocastanum* (A.h) i *P. acerifolia* (P.a) u Pančevu, Smederevu, Obrenovcu, Beogradu i na kontrolnom staništu tokom vegetacijske sezone (ANOVA, n=5, *p<0.05, **p<0.001, ***p<0.001, ns – nema značajnih razlika)

JUN																										
Tot carot (mg/g)		Pančevo					Smederevo					Obrenovac					Beograd					Kontrola				
Vrsta	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	
P(I)	0.308 (0.054)	/	ns	***	***	0.359 (0.026)	/	ns	***	***	0.338 (0.046)	/	ns	***	***	0.315 (0.048)	/	ns	***	***	0.288 (0.033)	/	ns	***	ns	
P(II)	0.221 (0.015)	ns	/	***	***	0.394 (0.051)	ns	/	***	***	0.278 (0.051)	ns	/	***	***	0.222 (0.027)	ns	/	***	***	0.262 (0.051)	ns	/	***	*	
A. h	1.136 (0.149)	***	***	/	ns	0.926 (0.131)	***	***	/	ns	1.239 (0.209)	***	***	/	***	1.459 (0.260)	***	***	/	***	1.050 (0.186)	***	***	/	***	
P. a	0.821 (0.111)	***	***	ns	/	0.959 (0.147)	***	***	ns	/	0.722 (0.204)	***	***	***	/	1.000 (0.097)	***	***	***	/	0.626 (0.111)	ns	*	***	/	
AVGUST																										
Tot carot (mg/g)		Pančevo					Smederevo					Obrenovac					Beograd					Kontrola				
Vrsta	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	
P(I)	0.247 (0.056)	/	ns	***	***	0.278 (0.028)	/	ns	***	*	0.455 (0.019)	/	ns	***	***	0.311 (0.031)	/	ns	***	***	0.416 (0.138)	/	ns	***	**	
P(II)	0.347 (0.024)	ns	/	***	***	0.382 (0.034)	ns	/	***	ns	0.352 (0.050)	ns	/	***	***	0.237 (0.042)	ns	/	***	***	0.307 (0.050)	ns	/	***	***	
A. h	1.620 (0.215)	***	***	/	ns	2.696 (0.305)	***	***	/	***	1.633 (0.298)	***	***	/	***	1.960 (0.158)	***	***	/	***	1.852 (0.076)	***	***	/	***	
P. a	1.276 (0.255)	***	***	ns	/	0.715 (0.075)	*	ns	***	/	1.055 (0.146)	***	***	***	/	0.851 (0.118)	***	***	***	/	0.810 (0.165)	**	***	***	/	
OKTOBAR																										
Tot carot (mg/g)		Pančevo					Smederevo					Obrenovac					Beograd					Kontrola				
Vrsta	M(SD)	P(I)	P(II)	A.	P.a	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	M(SD)	P(I)	P(II)	A.h	P.a	
P(I)	0.226 (0.044)	/	ns	***	***	0.245 (0.095)	/	ns	***	ns	0.370 (0.050)	/	ns	***	***	0.299 (0.056)	/	ns	***	***	0.329 (0.036)	/	ns	***	***	
P(II)	0.210 (0.055)	ns	/	***	***	0.227 (0.047)	ns	/	***	ns	0.346 (0.099)	ns	/	***	***	0.294 (0.066)	ns	/	***	***	0.252 (0.070)	ns	/	***	***	
A. h	1.598 (0.209)	***	***	/	ns	1.512 (0.145)	***	***	/	***	1.571 (0.197)	***	***	/	***	1.847 (0.152)	***	***	/	***	1.489 (0.135)	***	***	/	***	
P. a	1.317 (0.040)	***	***	ns	/	0.419 (0.064)	ns	ns	***	/	1.001 (0.145)	***	***	***	/	1.160 (0.220)	***	***	***	/	1.012 (0.128)	***	***	***	/	

5.3.3 Razlike između drvenastih vrsta na osnovu sadržaja hemijskih elemenata, efikasnosti fotosinteze i sadržaja fotosintetičkih pigmenata

Kanonijska diskriminaciona analiza je primenjena u cilju utvrđivanja razlika između ispitivanih vrsta na urbanim staništima na osnovu ukupnog sadržaja hemijskih elemenata (Al, B, Cu, Fe, Mn, Sr i Zn), efikasnosti fotosinteze (Fv/Fm) i koncentracije fotosintetičkih pigmenata (Chl *a*, Chl *b*, Tot carot). Rezultati analize prikazani na slici 13 pokazuju jasne razlike između ispitivanih vrsta na lokalitetima. U Pančevu, na prvu diskriminantnu funkciju (DC1) koja objašnjava 80.09 % razlika i odvaja četine *P. nigra* od listopadnih vrsta najveći uticaj na razdvajanje imaju parametri B, Fe, Zn i Chl *b*, dok na drugu diskriminantnu funkciju koja odvaja *A. hippocastanum* od *P. acerifolia* (DC2 – 19.91 %) pored B i Fe, značajan uticaj imaju još i Mn i Sr. U Smederevu na DC1 (97.16 %) veliki broj parametara utiče na razdvajanje vrsta od kojih su najznačajniji B, Mn, Sr, Chl *a* i Chl *b*. Na DC2 koja doprinosi sa samo 2.84 % i razdvaja *A. hippocastanum* i *P. acerifolia* najjači uticaj ima Fe. Na razdvajanje *P. nigra* od listopadnih vrsta u Obrenovcu najznačajni uticaj na DC1 (87.24 %) imaju Al, Fe, Sr i Chl *b*, dok na DC2 (12.76 %) koja odvaja *A. hippocastanum* od *P. acerifolia* dominantni parametri su B, Fe i Chl *a*. Rezultati grupisanja vrsta u Beogradu su pokazali da na prvu diskriminantnu funkciju (DC1 – 60.82 %) najveći uticaj imaju B, Fe, Mn i Sr, a na drugu (DC2 – 39.18%) Al, Fe i Mn. Na kontrolnom staništu, na osnovu prve diskriminantne funkcije koja objašnjava 80.47 % razlika u sadržaju ispitivanih parametara, najveći značaj na razdvajanje vrsta imaju Mn, Sr i Chl *b*, dok na drugu funkciju (DC2) koja utiče na razdvajanje *A. hippocastanum* i *P. acerifolia* i objašnjava 19.53 % imaju Al, Fe i Mn.

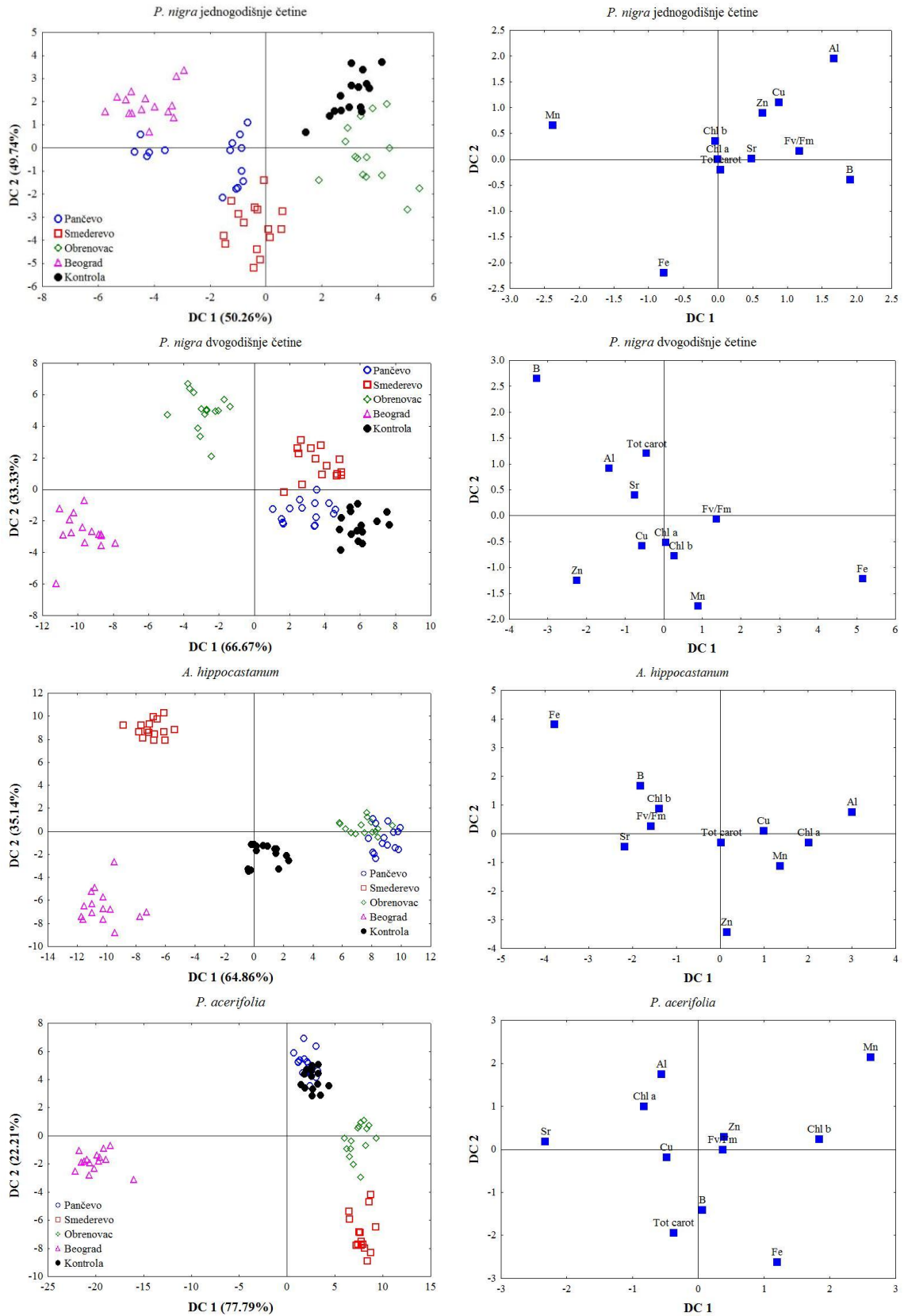




Slika 13. Pozicije biljaka u prostoru I i II diskriminantne ose na osnovu sadržaja hemijskih elemenata, efikasnosti fotosinteze, koncentracije biljnih pigmenata (A) i značaj pojedinih metala u diskriminaciji (B)

5.3.4 Razlike između lokaliteta na osnovu sadržaja hemijskih elemenata, efikasnosti fotosinteze i koncentracije fotosintetičkih pigmenata u drvenastim vrstama biljaka

Razlike u ukupnom sadržaju hemijskih elemenata (Al, B, Cu, Fe, Mn, Sr i Zn), efikasnosti fotosinteze (Fv/Fm) i koncentracije fotosintetičkih pigmenata (Chl *a*, Chl *b*, Tot carot) u četinama *P. nigra* i listovima *A. hippocastanum* i *P. acerifolia* su određene primenom kanonijske diskriminantne analize, a rezultati razdvajanja lokaliteta na osnovu gorepomenutih parametara su prikazani na Slici 14. Na razdvajanje parkova u Smederevu i Beogradu kod jednogodišnjih četina *P. nigra* na prvu diskriminantnu funkciju (DC1 – 50.26 %) najveći uticaj imaju Mn i Fe, dok postojeće preklapanje između Obrenovca i kontrolnog staništa pokazuje njihov sličan ukupan sadržaj Al i B. Na drugu diskriminantnu funkciju (DC2) koja opisuje 49.74 % razlika, na razdvajanje lokaliteta najveći uticaj imaju Al, Cu i Fe. Kod dvogodišnjih četina *P. nigra* na osnovu DC1 - 66.67 % dolazi do jasnog razdvajanja Obrenovca i Beograda od preostala tri lokaliteta koja su blisko grupisana i mogu se posmatrati kao celina, odnosno zaseban klaster. Parametri koji najviše utiču na razdvajanje su Al, B, Fe i Zn. Na DC2 funkciju koja doprinosi sa 33.33 % razlika najveći uticaj imaju B, Mn i Zn. Svi lokaliteti na kojima raste *A. hippocastanum* su razdvojeni po DC1 (64.86 %), gde se sa jedne strane odvajaju Smederevo, Beograd i kontrolno stanište, a sa druge Pančevo i Obrenovac, a najveći uticaj imaju Al, Fe, Sr i Chl *a*. Na DC2 (35.14 %) najveći uticaj imaju Fe i Zn. Kada su u pitanju lokaliteti na kojima raste *P. acerifolia*, Smederevo, Obrenovac i Beograd su jasno međusobno razdvojeni prema DC1 - 77.79 %, a najveći uticaj imaju Fe, Mn, Sr i Chl *b*, dok je gotovo potpuno preklapanje uočeno između Pančeva i kontrolnog staništa. Prema DC2 koja objašnjava 22.21 % razlika najveći uticaj imaju Al, Fe, Mn i Tot carot.



Slika 14. Pozicije lokaliteta u prostoru I i II diskriminantne ose na osnovu sadržaja hemijskih elemenata u listu, efikasnosti fotosinteze i sadržaja fotosintetičkih pigmenata u biljkama (A) i značaj pojedinih metala u diskriminaciji (B)

5.4 MORFOLOŠKE PROMENE ČETINA I LISTOVA DRVENASTIH VRSTA BILJAKA

5.4.1 Simptomi oštećenja četina i listova drvenastih vrsta biljaka

Vidljivi simptomi oštećenja na četinama i listovima ispitivanih drvenastih vrsta na istraživanim lokalitetima su analizirane tokom vegetacijske sezone u tri sezonska preseka (jun, avgust i oktobar) (Slike 15, 16 i 17).

Ispitivane individue vrste *P. nigra* karakteriše opšte smanjena vitalnost, krošnje su uglavnom značajno proređene, a takođe su izraženi i simptomi oštećenja jednogodišnjih i dvogodišnjih četina. Na kontrolnom staništu, nisu uočene značajne promene, ali su registrovane vršne hloroze na pojedinim jednogodišnjim i vršne i tačkaste hloroze na ostalim delovima pojedinačnih dvogodišnjih četina. U parku u Pančevu, u najvećem delu sezone, jednogodišnje i dvogodišnje četine su bile zdrave i bez simptoma oštećenja izuzev u avgustu kada su uočene nekrotične površine tamnosmeđe boje na oba tipa četina, i u oktobru kada je uočen jedan broj osušenih dvogodišnjih četina. Nasuprot tome, na dvogodišnjim četinama *P. nigra* iz parka u Smederevu su već u junu uočeni prvi simptomi oštećenja u vidu vršnih nekroza i hloroza i jedan broj suvih četina. Slični simptomi su evidentirani i na jednogodišnjim četinama na kojima su dominirale tačkaste hloroze. U parku u Obrenovcu u junu nije bilo vidljivih oštećenja, a prvi znaci promena su uočeni kod dvogodišnjih četina u avgustu u vidu vršnih hloroza i hloroza u bazalnom delu četina. Slične promene su zapažene i kod jednogodišnjih četina, ali tek u oktobru. U parku u Beogradu, na jednogodišnjim četinama nisu uočeni značajni vidljivi simptomi oštećenja za razliku od dvogodišnjih na kojima su uočene retke vršne hloroze i nekroze, naročito u oktobru kada su hloroze bile izražene i u središnjem delu četina.

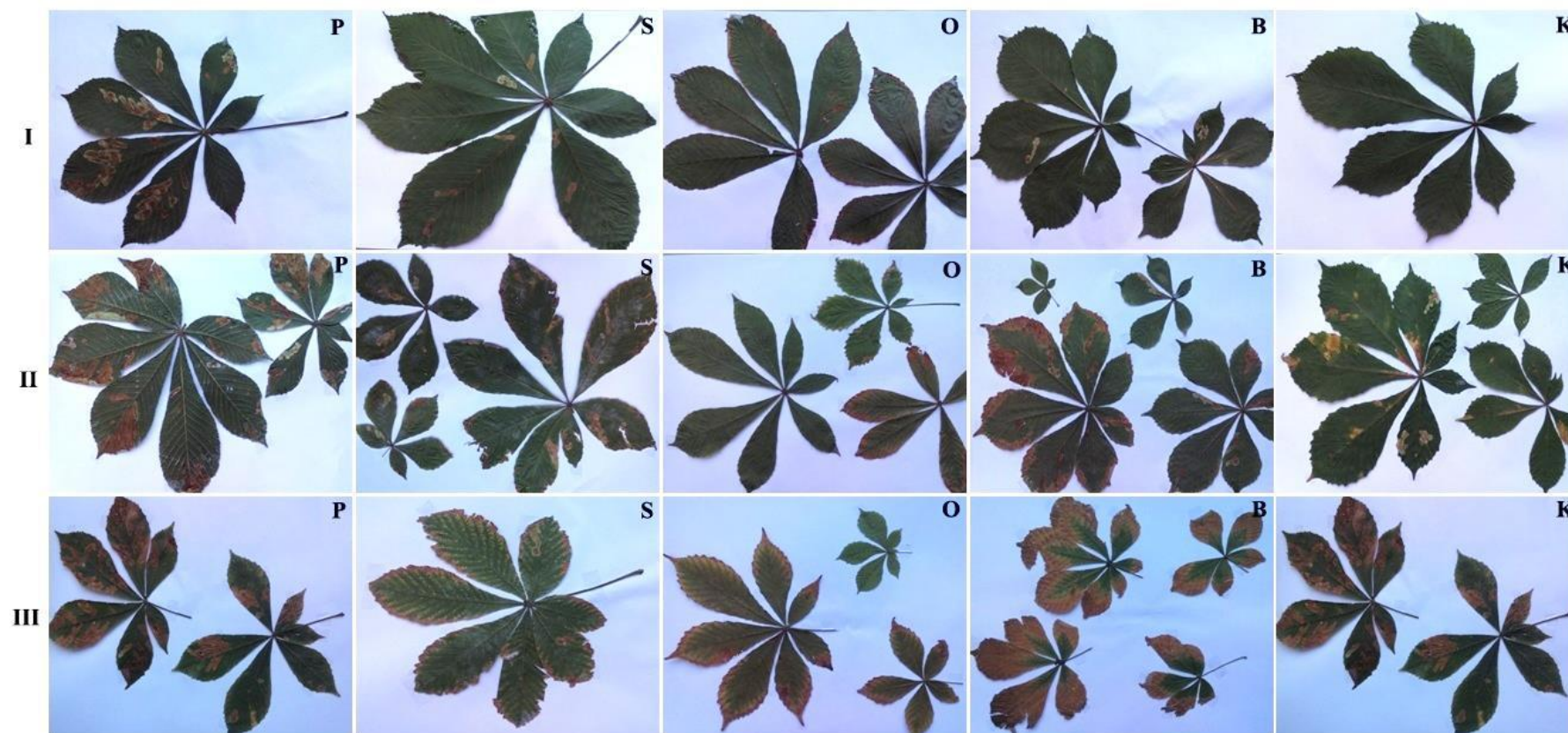
Vrsta *A. hippocastanum* je vrsta koja je izložena delovanju patogena stoga je bilo očekivano da su na svim lokalitetima tokom sva tri sezonska preseka (osim na kontrolnom staništu u junu) uočena oštećenja izazvana delovanjem pre svega kestenovog moljca *Cameraria ohridella* Deschke et Dimić koji pravi hodnike “mine” najčešće na adaksijalnoj strani lista, hraneći se palisadnim tkivom. Oštećenja izazvana ovim patogenim insektom su velika, najpre na marginalnim delovima listova, a kasnije često prekrivaju celu površinu lisne ploče i održavaju se tokom cele sezone. U junu,

listovi *A. hippocastanum* su zdravi, zelene boje pre svega na kontrolnom staništu i u parku u Obrenovcu dok su tragovi delovanja patogena vidljivi na ostala tri lokaliteta. Kako sezona odmiče, posle cvetanja, sa pojavom patogena, razvijaju se oštećenja listova koja su najizraženija u avgustu i u oktobru kada dolazi do prevremenog sazrevanja i opadanja listova. Najizraženija oštećenja ovog tipa su uočena na individuama ove vrste u parkovima u Pančevu, Smederevu i posebno u Beogradu (Slika 16). Važno je napomenuti da zbog intenziteta oštećenja parenhimskih tkiva listova nije moguće sa sigurnošću razlikovati simptome izazvanih bilo drugim biotičkim, bilo abiotičkim faktorima iz antropogenih izvora.

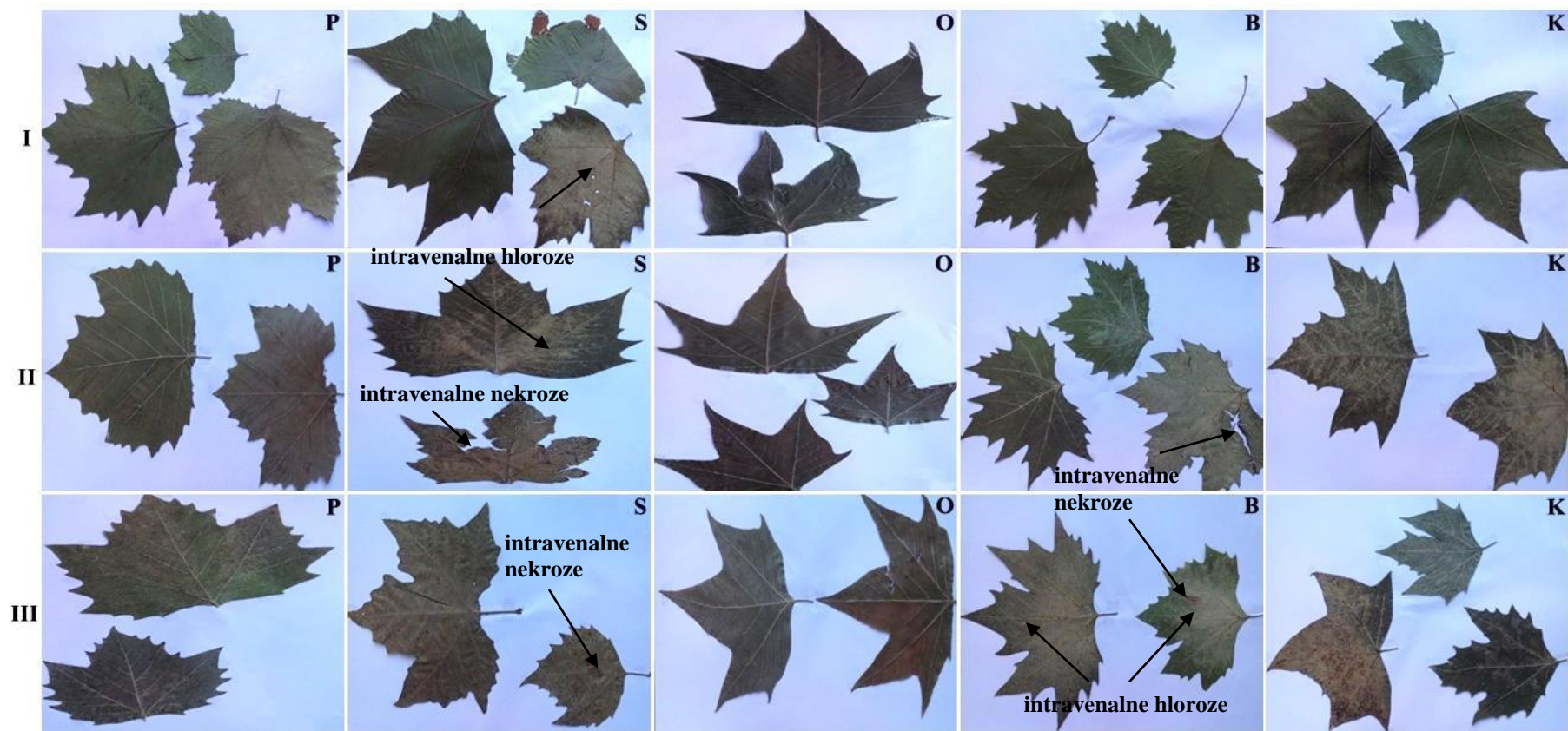
Slično kao kod *A. hippocastanum*, i kod *P. acerifolia* su na svim lokalitetima, osim u Beogradu tokom juna utvrđene morfološke promene u sva tri sezonska preseka. Najintenzivnija oštećenja u vidu intravenalnih hloroza i nekroza koje zauzimaju veliki deo lisne ploče su detektovana na individuama ove vrste iz parka u Smederevu i nešto manjeg intenziteta iz parka u Beogradu. Nivo oštećenja se povećavao tokom sezone, u avgustu i oktobru. Najizraženiji simptomi oštećenja tokom sezone su uočeni na uzorcima iz Smedereva, Beograda i sa kontrolnog staništa. Oštećenja opisana kao intravenalne nekroze osim polutantima mogu biti izazvana delovanjem gljive *Apiognomonium veneta*, koja preživljava zimski period u grančicama i suvim listovima, a bolest koju izaziva se antrahnoza.



Slika 15. Vidljivi simptomi oštećenja jednogodišnjih i dvogodišnjih četina *P. nigra* u junu (I), avgustu (II) i oktobru (III) u Pančevu (P), Smederevu (S), Obrenovcu (O), Beogradu (B) i na kontrolnom staništu (K)



Slika 16. Vidljivi simptomi oštećenja listova *A. hippocastanum* u junu (I), avgustu (II) i oktobru (III) u Pančevu (P), Smederevu (S), Obrenovcu (O), Beogradu (B) i na kontrolnom staništu (K)



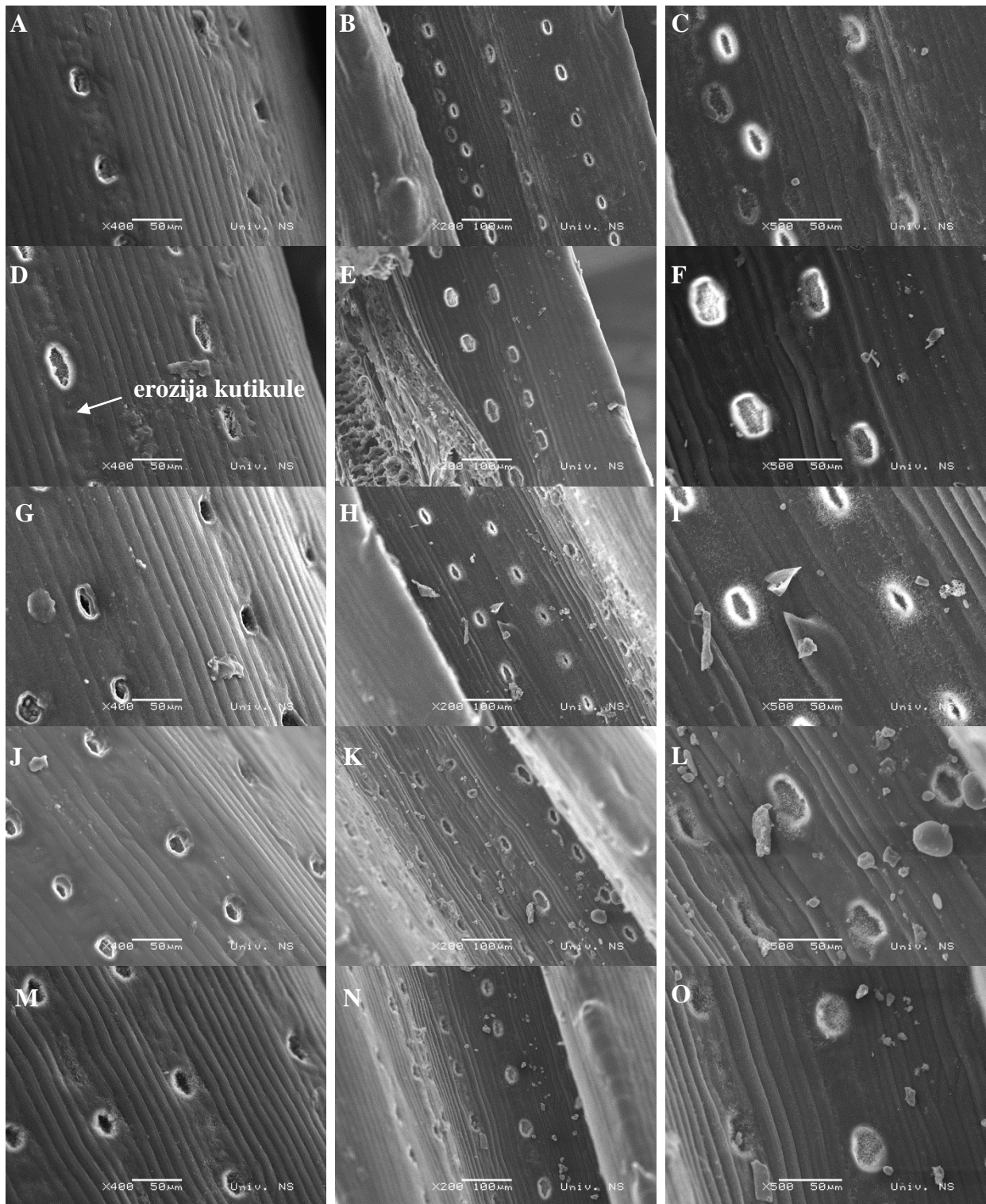
Slika 17. Vidljivi simptomi oštećenja listova *P. acerifolia* u junu (I), avgustu (II) i oktobru (III) u Pančevu (P), Smederevu (S), Obrenovcu (O), Beogradu (B) i na kontrolnom staništu (K)

5.4.2 Simptomi oštećenja struktura periferijskih zaštita četina i listova i karakterizacija atmosferskih čestica deponovanih na njihovoj površini

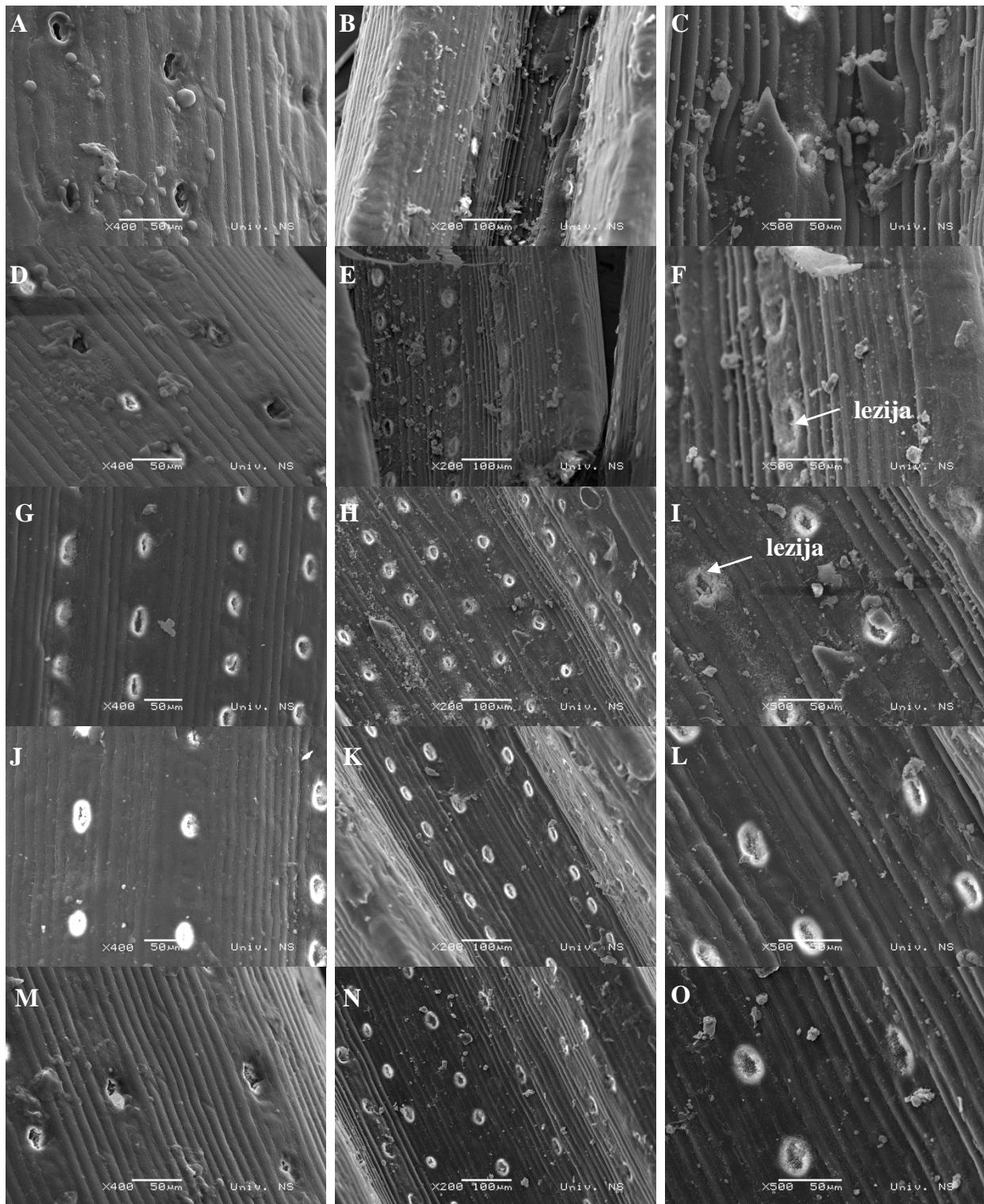
Stanje struktura periferijskih zaštita listova je analizirano u dva sezonska preseka, u junu i oktobru. Analizirani su lice i naličje četina i listova, pre svega promene na epidermisu i kutikuli odnosno kutikularnim voskovima, ali i stanje stoma kao i stepen atmosferske depozicije na površini listova. Takođe je analiziran oblik, veličina i u ograničenom obimu hemijski sastav atmosferskih čestica deponovanih na površini lica i naličja četina i listova.

SEM mikrografije četina *P. nigra* različite starosti pokazuju da je veća depozicija atmosferskih čestica, kao i da su izraženiji simptomi oštećenja struktura periferijskih zaštita na četinama iz urbanih parkova u odnosu na iste sa kontrolnog staništa. Veća depozicija atmosferskih čestica je na naličju nego na licu četina, oštećenja su izraženija u uzorcima iz oktobra u odnosu na iste iz juna, dvogodišnje četine imaju veći intenzitet oštećenja i veću količinu deponovanih čestica u odnosu na jednogodišnje, a takođe postoje određene razlike na nivou lokaliteta. U junu, jednogodišnje četine *P. nigra* nisu imale oštećenja kutikule odnosno epikutikularnih voskova izuzev blage erozije u uzorcima iz parkova u Smederevu i Beogradu, i u proseku su imale mali broj čestica na svojim površinama. Na naličju četina je vidljivo veći broj različitih čestica, a simptomi oštećenja kutikule su naizraženiji u parku u Beogradu (Slika 18). Na kraju sezone, četine imaju srazmerno veći broj deponovanih čestica na licu i naličju pri čemu su oštećenja u vidu lezija kutikularnih voskova izraženija u zoni oko stoma (na naličju četina), i to iz parkova u Smederevu i Obrenovcu (Slika 19) Kod četina *P. nigra*, za razliku od listopadnih vrsta, depozicija čestica je značajnija na naličju četina.

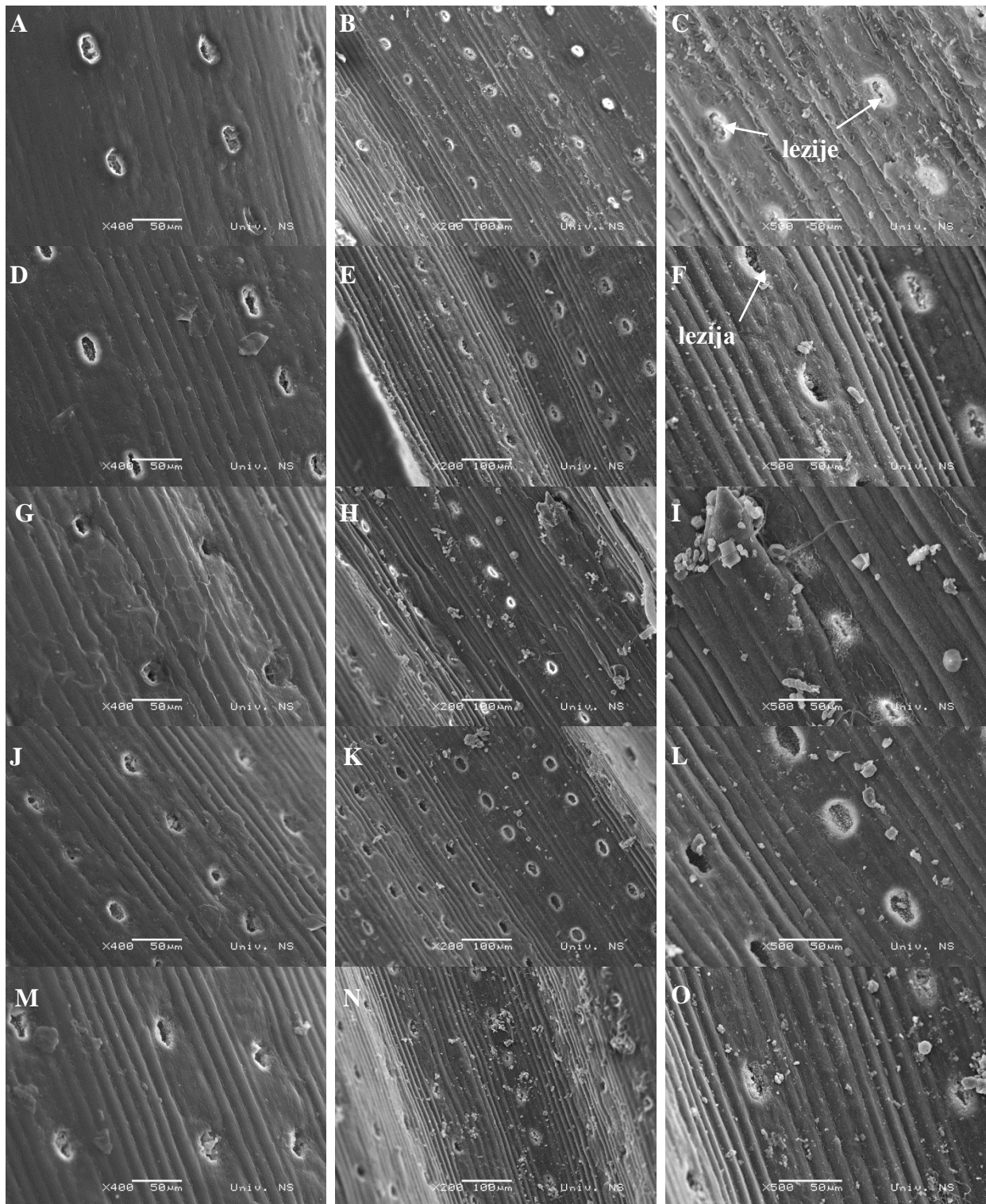
Kod dvogodišnjih četina, primetno je veće oštećenje kutikule i stoma u poređenju sa jednogodišnjim (Slika 20), kao i veća količina deponovanih čestica manjeg dijametra u uzorcima iz juna i oktobra. U zoni oko stoma su izraženija oštećenja u uzorcima iz oktobra (Slika 21).



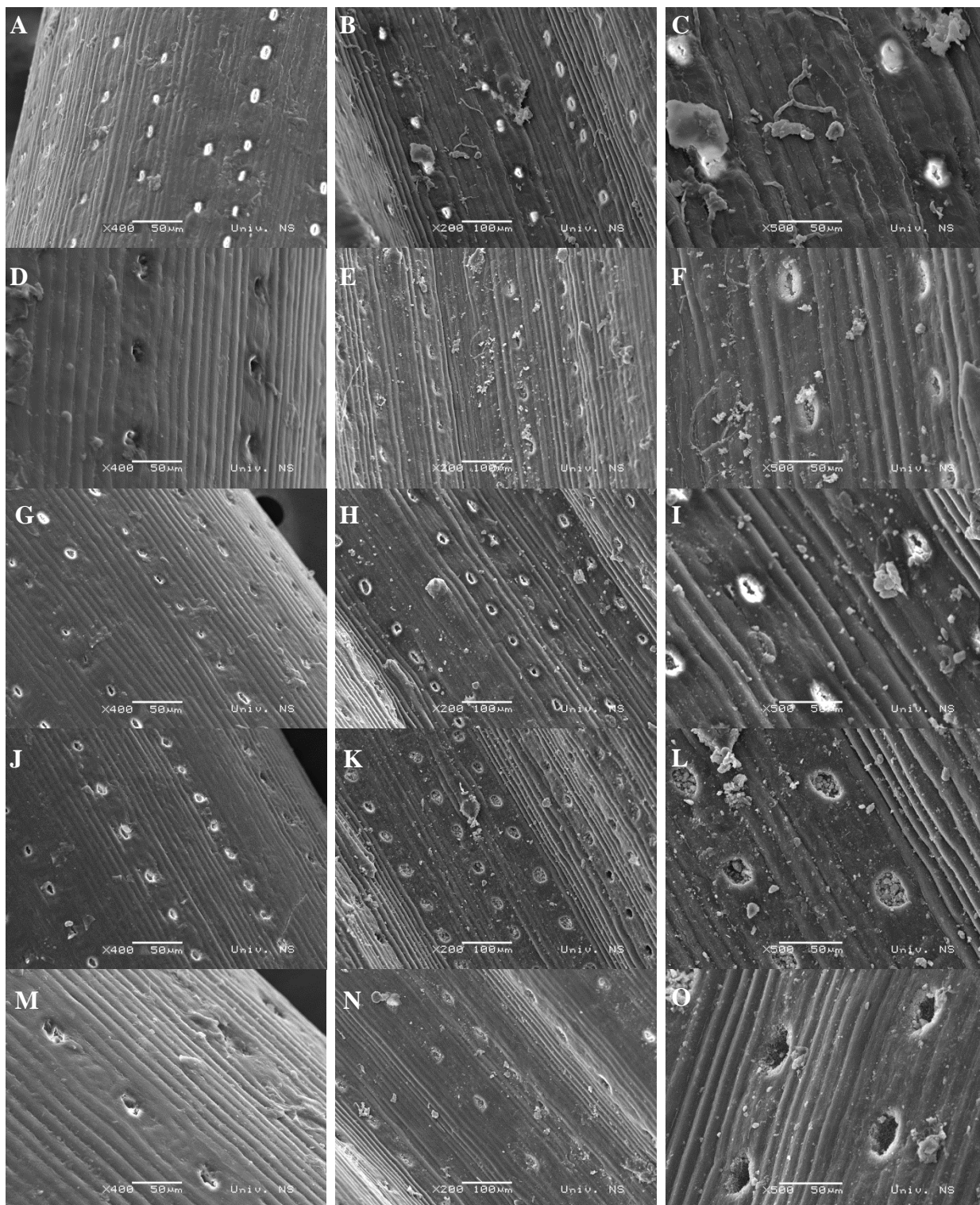
Slika 18. SEM mikrografija lica (LL) i naličja (NL) jednogodišnje četine *P. nigra* u junu: Pančevo A (LLx400), B (NLx200), C (NLx500), Smederevo D (LLx400), E (NLx200), F (NLx500), Obrenovac G (LLx400), H (NLx200), I (NLx500), Beograd J (LLx400), K (NLx200), L (NLx500), kontrolno stanište M (LLx400), N (NLx200), O (NLx500)



Slika 19. SEM mikrografija lica (LL) i naličja (NL) jednogodišnje četine *P. nigra* u oktobru: Pančevo A (LLx400), B (NLx200), C (NLx500), Smederevo D (LLx400), E (NLx200), F (NLx500), Obrenovac G (LLx400), H (NLx200), I (NLx500), Beograd J (LLx400), K (NLx200), L (NLx500), kontrolno stanište M (LLx400), N (NLx200), O (NLx500)



Slika 20. SEM mikrografija lica (LL) i naličja (NL) dvogodišnje četine *P. nigra* u junu: Pančevo A (LLx400), B (NLx200), C (NLx500), Smederevo D (LLx400), E (NLx200), F (NLx500), Obrenovac G (LLx400), H (NLx200), I (NLx500), Beograd J (LLx400), K (NLx200), L (NLx500), kontrolno stanište M (LLx400), N (NLx200), O (NLx500)

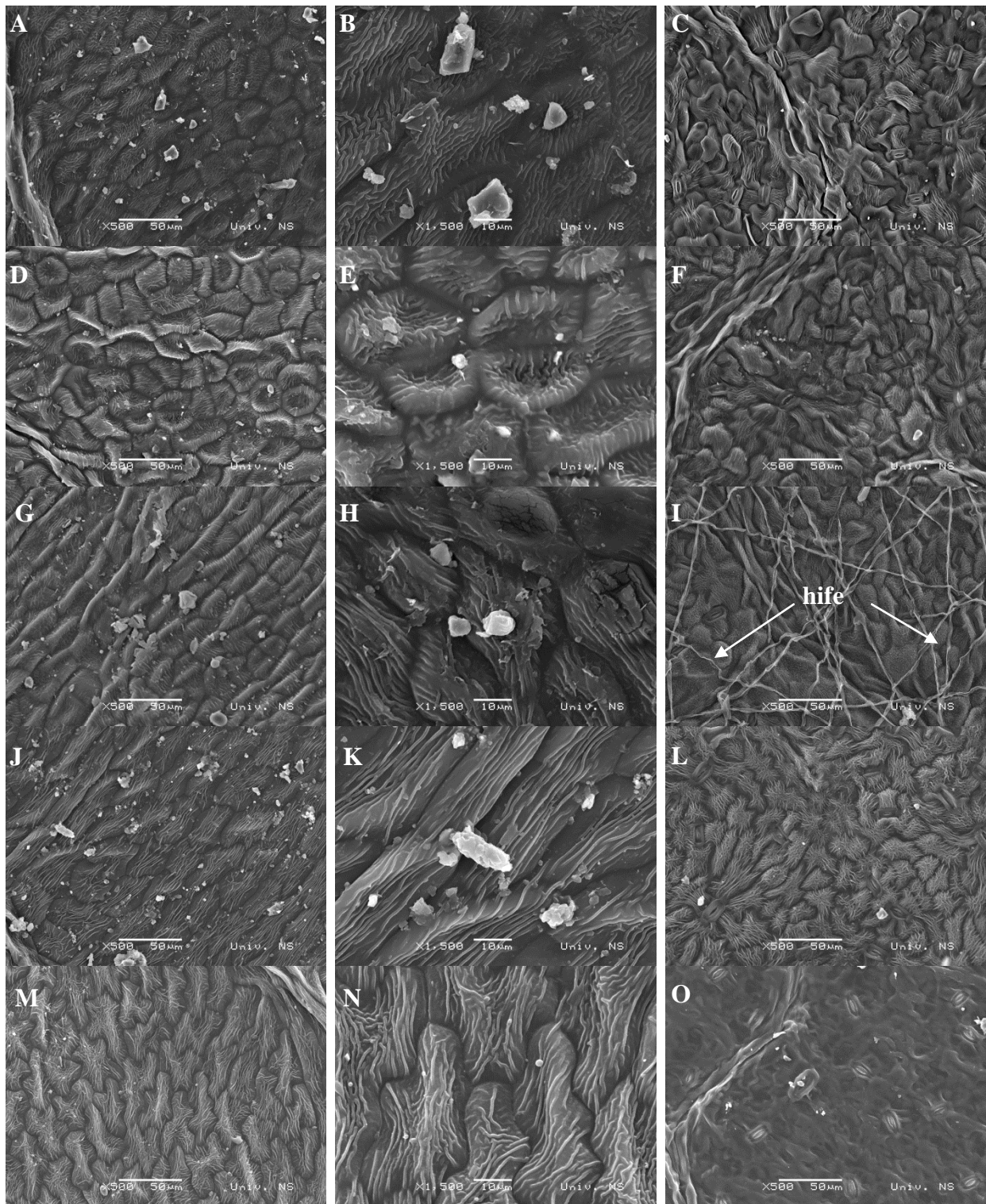


Slika 21. SEM mikrografija lica (LL) i naličja (NL) dvogodišnje četine *P. nigra* u oktobru: Pančevo A (LLx400), B (NLx200), C (NLx500), Smederevo D (LLx400), E (NLx200), F (NLx500), Obrenovac G (LLx400), H (NLx200), I (NLx500), Beograd J (LLx400), K (NLx200), L (NLx500), kontrolno stanište M (LLx400), N (NLx200), O (NLx500)

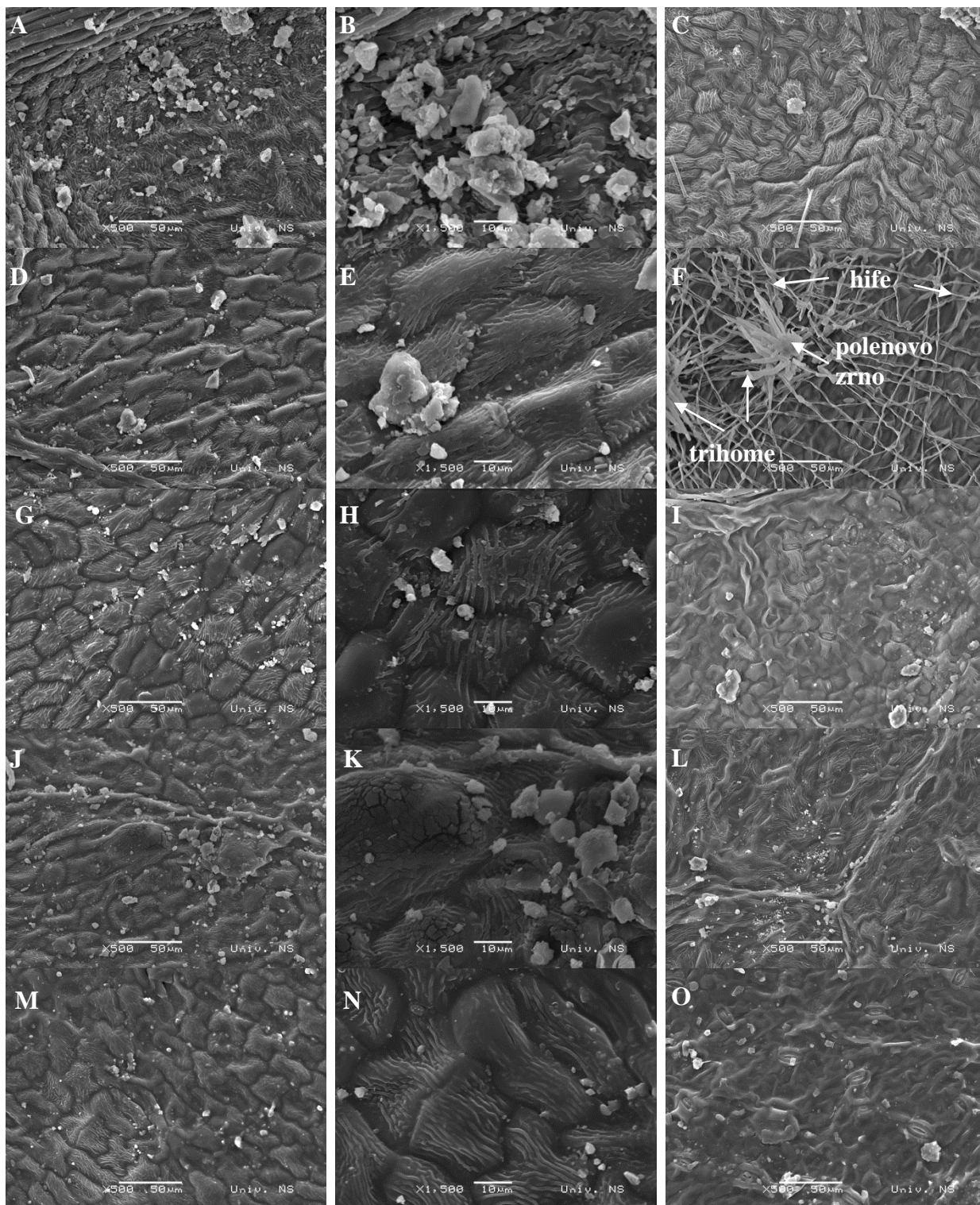
Krupne ćelije epidermisa, talasasto naborana struktura kutikularnih voskova na licu i naličju listova kao i prisustvo glandularnih trihoma duž centralnog nerva (*A. hippocastanum*) ili na celoj površini listova (*P. acerifolia*) obe lišćarske vrste omogućavaju značajno veću depoziciju atmosferskih čestica, ali i deponovanje polenovih zrna kako drvenastih tako i zeljastih biljaka, zatim spora i hifa različitih vrsta gljiva uključujući i patogene vrste (Slike 22 I, 23 F) i drugog materijala biogenog porekla.

Talasaste površine listova *A. hippocastanum* omogućavaju nakupljanje čestica i njihovih agregata. U junu je najveći broj čestica uočen na listovima iz Pančeva (dijametra do 10 μm , Slika 22), manji u uzorcima iz parka u Obrenovcu (<10 μm , Slika 22 G, H) i Beogradu (Slika 22 J, K). Količina deponovanih čestica nije nužno vezana za pojavu oštećenja posebno na početku vegetacijske sezone kada su listovi u punom razvoju fotosintetičkih i zaštitnih tkiva, odnosno u fazi uspostavljanja pune efikasnosti fotosinteze i ostalih fizioloških procesa. Međutim, tokom sezone se povećavala količina čestica naročito u nedostatku padavina što je bio slučaj u periodu jul-septembar u godini kada su obavljena ispitivanja. To je uticalo i na formiranje agregata čestica koji su posebno bili izraženi na uzorcima listova iz Pančeva, Smedereva i Beograda (Slika 23 B, E, K) čija je veličina bila > 30 μm . Ovu vrstu karakterišu hipostomatični listovi kod kojih su stome na naličju listova i u nivou epidermisa tako da se oštećenja stoma retko uočavaju.

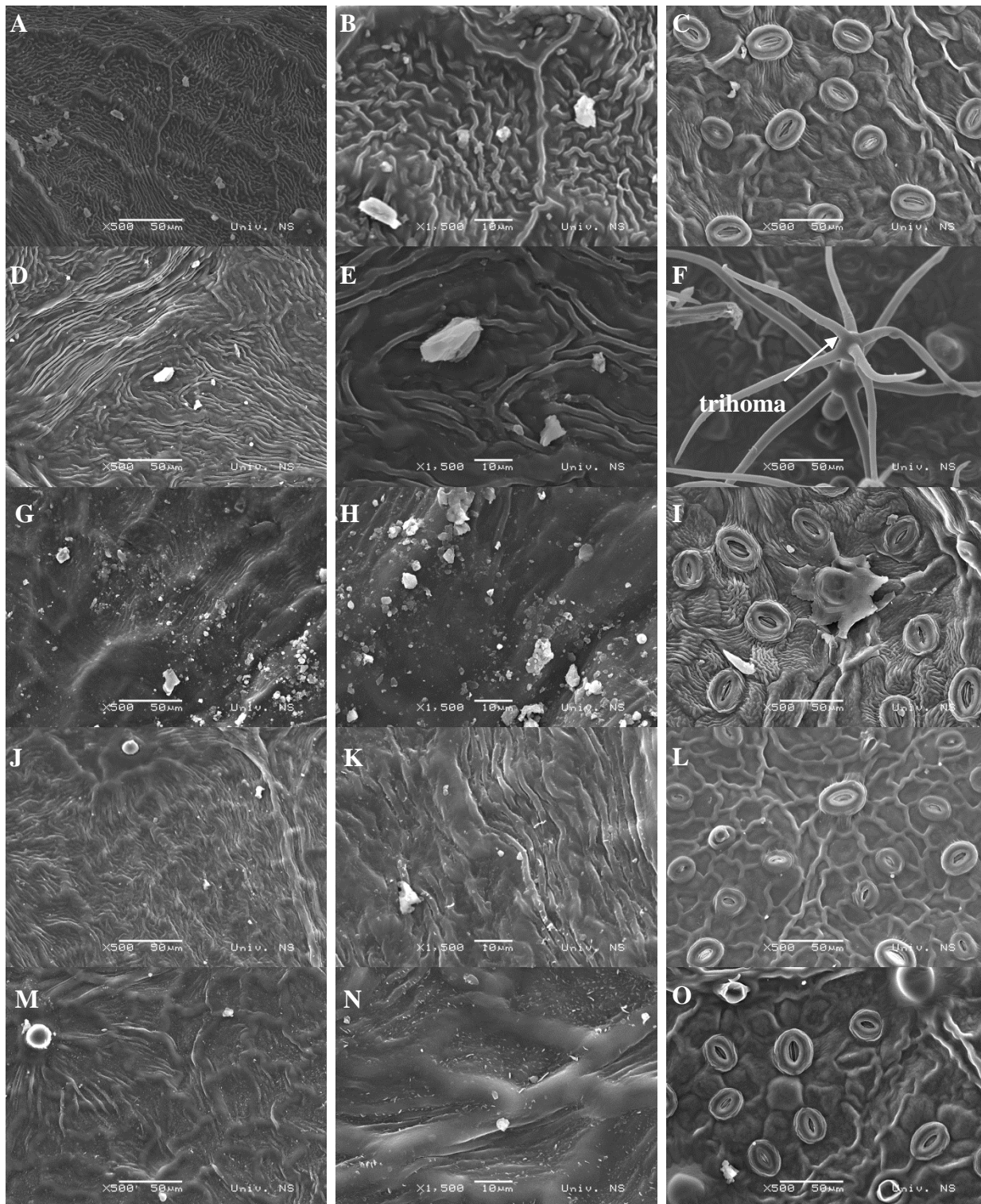
Na licu lista *P. acerifolia* se deponje manji broj čestica i njihovih agregata, verovatno zato što dolazi do gubitka trihoma tokom sezone, epidermalne ćelije su sitnije, a kutikula je manje naborana. Deponovane čestice i njihovi agregati su sitniji, što je posebno vidljivo u Obrenovcu u junu (Slika 24 G). I u ovom slučaju, primetno je povećanje depozicije tokom sezone do oktobra. Na listovima *P. acerifolia* iz parka u Smederevu, veličina čestica je u proseku dijametra do 10 μm dok su na ostalim lokalitetima sitnije.



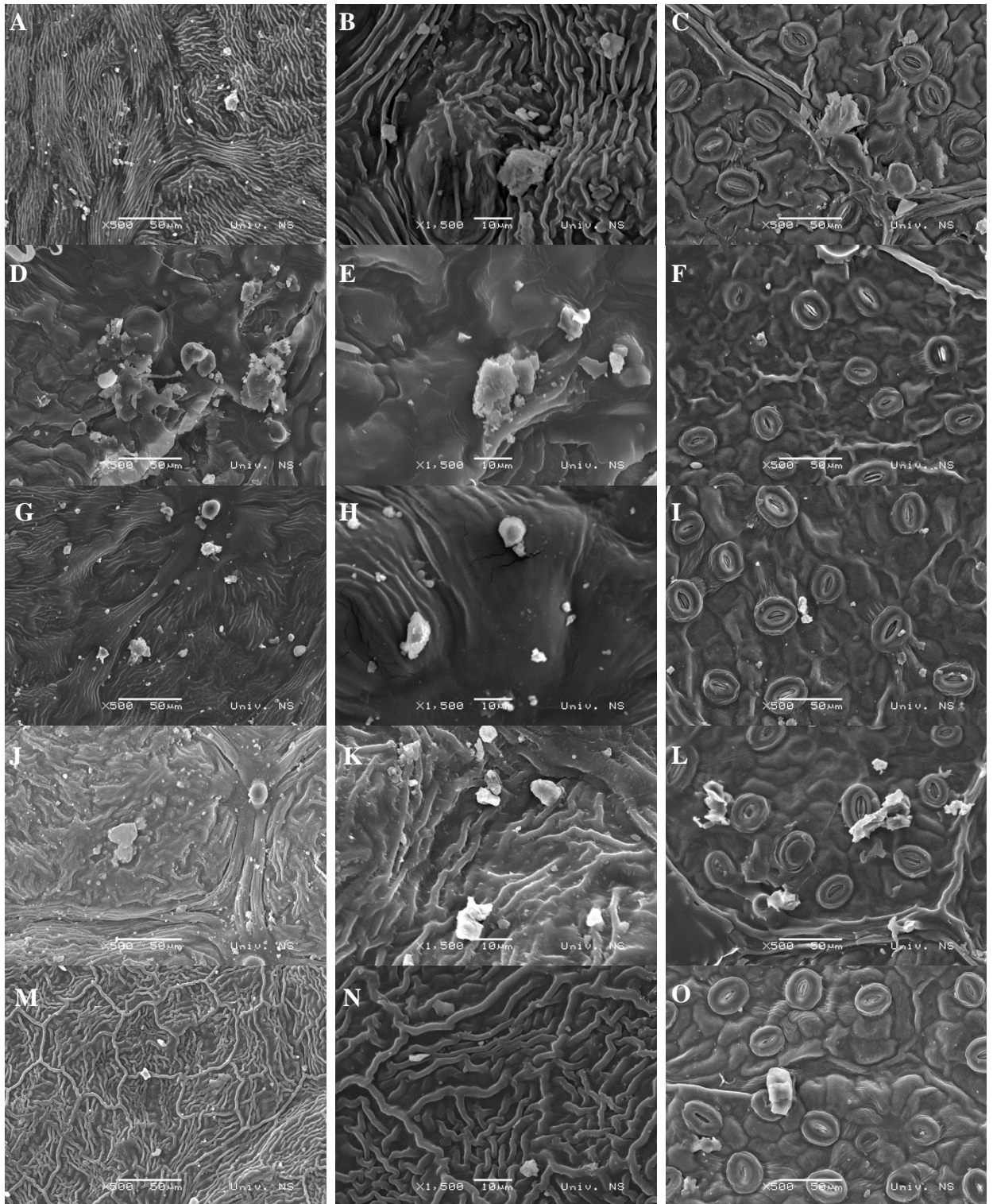
Slika 22. SEM mikrografija lica (LL) i naličja (NL) lista *A. hippocastanum* u junu: Pančevo A (LLx500), B (LLx1500), C (NLx500), Smederevo D (LLx500), E (LLx1500), F (NLx500), Obrenovac G (LLx500), H (LLx1500), I (NLx500), Beograd J (LLx500), K (LLx1500), L (NLx500), kontrolno stanište M (LLx500), N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



Slika 23. SEM mikrografija lica (LL) i naličja (NL) lista *A. hippocastanum* 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), kontrolno stanište M (LLx500), N (LLx1500), O (NLx500)

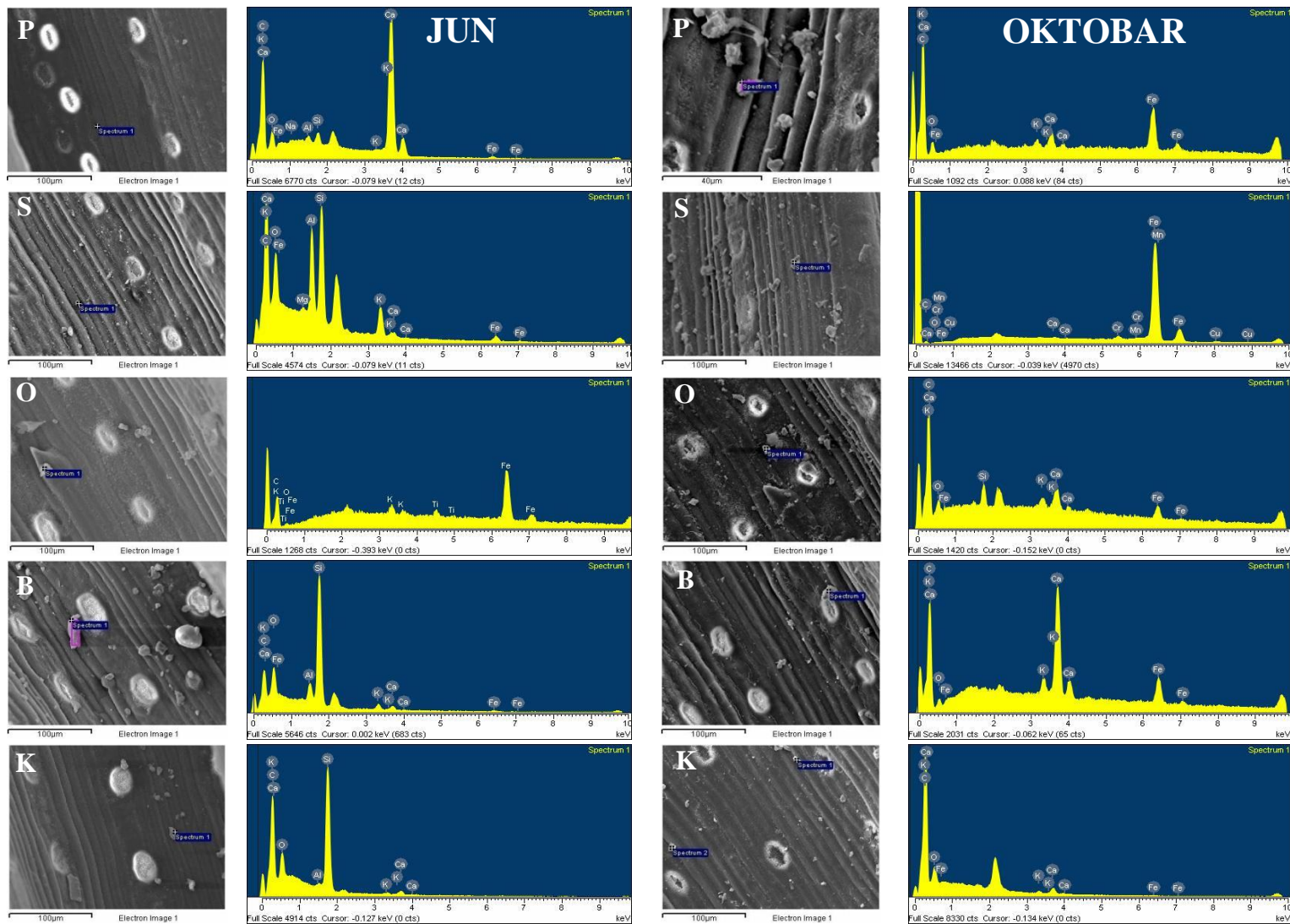


Slika 24. SEM mikrografija lica (LL) i naličja (NL) lista *P. acerifolia* u junu: Pančevo A (LLx500), B (LLx1500), C (NLx500), Smederevo D (LLx500), E (LLx1500), F (NLx500), Obrenovac G (LLx500), H (LLx1500), I (NLx500), Beograd J (LLx500), K (LLx1500), L (NLx500), kontrolno stanište M (LLx500), N (LLx1500), O (NLx500)

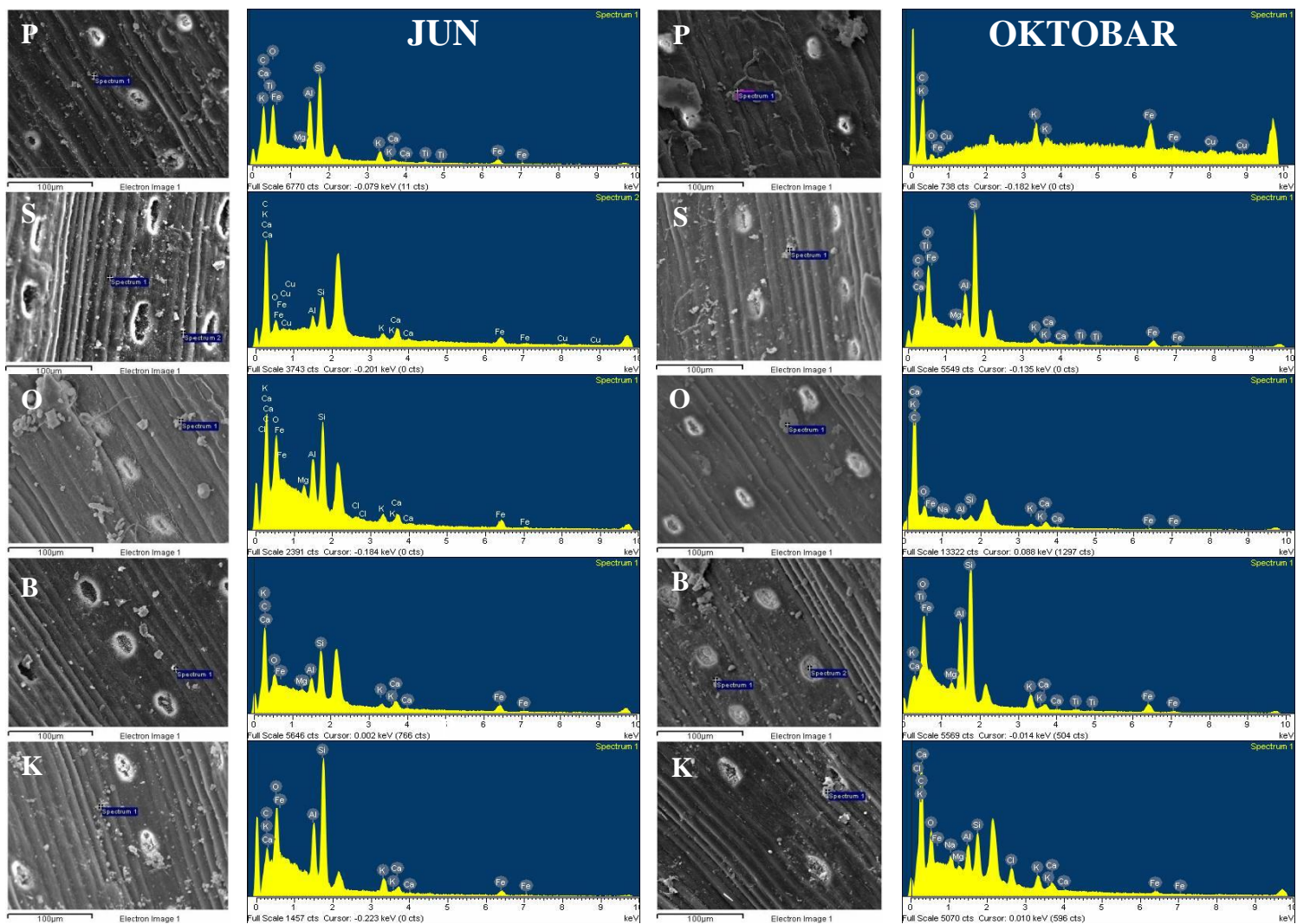


Slika 25. SEM mikrografija lica (LL) i naličja (NL) lista *P. acerifolia* u oktobru: Pančevo A (LLx500), B (LLx1500), C (NLx500), Smederevo D (LLx500), E (LLx1500), F (NLx500), Obrenovac G (LLx500), H (LLx1500), I (NLx500), Beograd J (LLx500), K (LLx1500), L (NLx500), kontrolno stanište M (LLx500), N (LLx1500), O (NLx500)

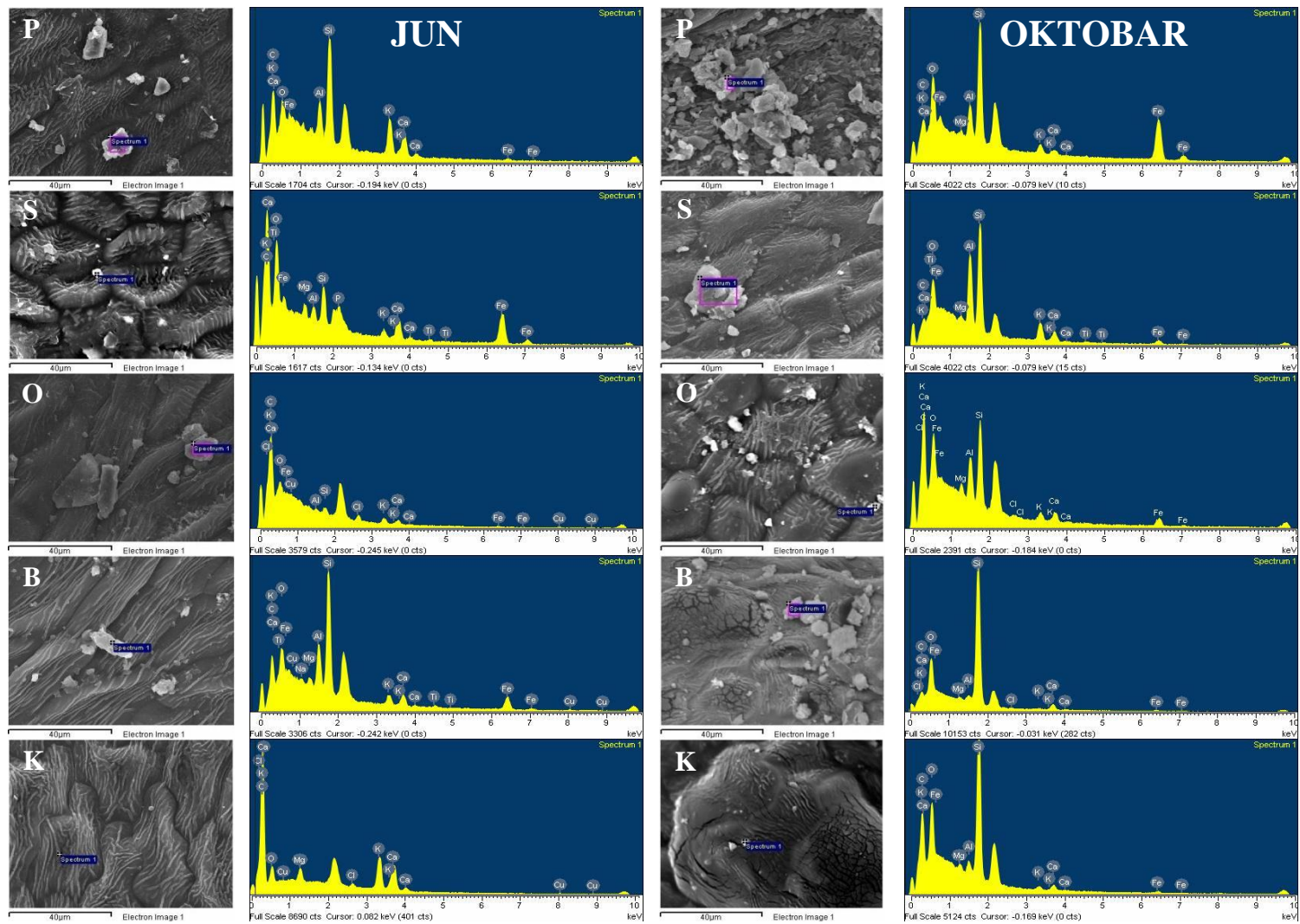
Hemijski sastav deponovanih čestica na površini listova ispitivanih vrsta je utvrđen na osnovu njihove spektralne analize metodom SEM-EDS (Slike 26-29). Koncentracija hemijskih elemenata u česticama deponovanih na površini listova u junu i oktobru je prikazana u tabelama 52 i 53. SEM-EDS spektralna analiza hemijskog sastava deponovanih čestica je pokazala da su najčešće zastupljeni elementi na listovima svih vrsta bili C, Ca, Fe, K, O i Si. Aluminijum je takođe prisutan na svim lokalitetima kod svih vrsta, osim kod jednogodišnjih četina *P. nigra*. Sporadično su se javljali i potencijalno toksični elementi poput Cl i Ti.



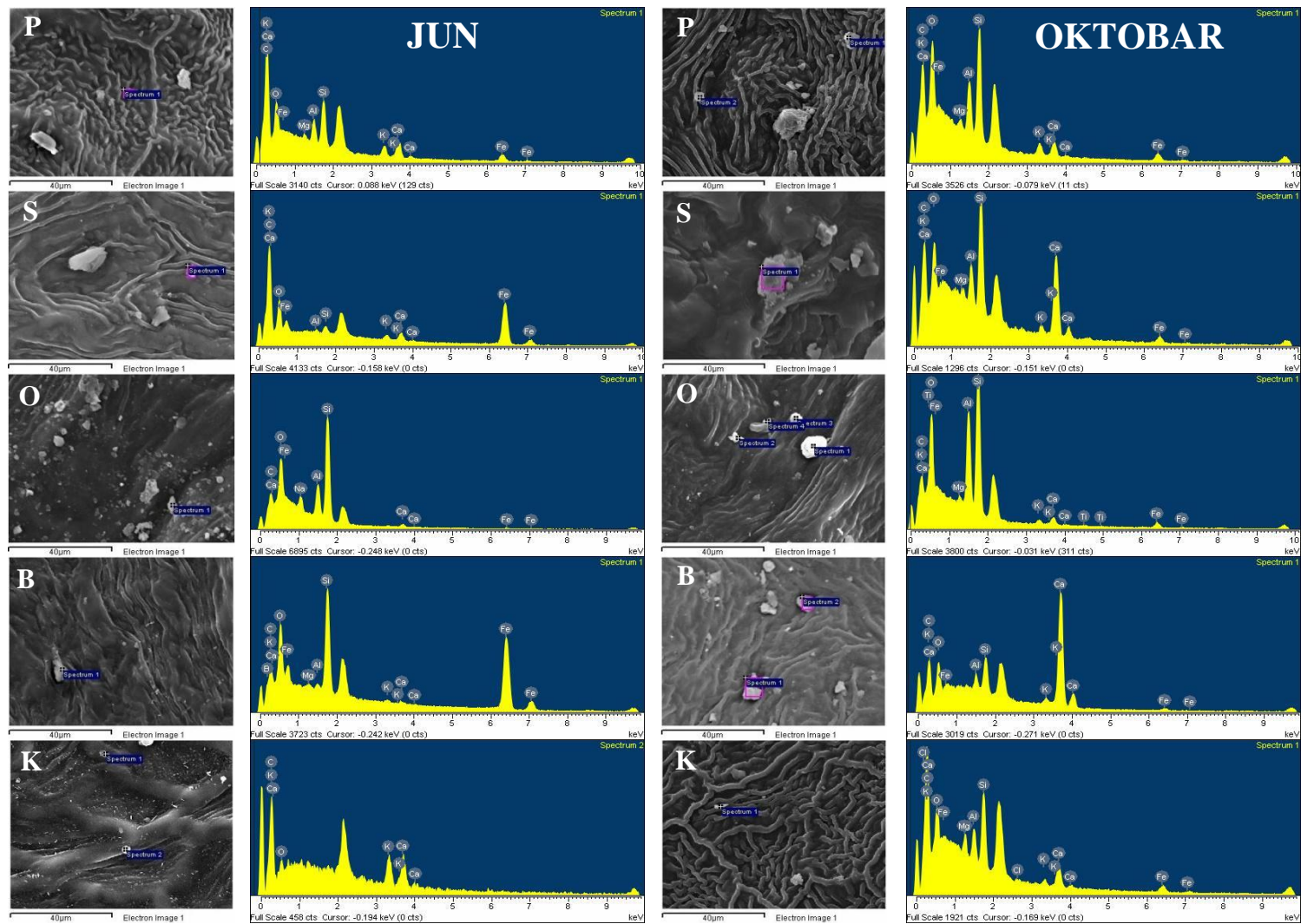
Slika 26. Spektralna analiza (SEM-EDS) hemijskog sastava čestica na jednogodišnjim četinama *P. nigra* u junu i oktobru: Pančevo (P), Smederevo (S), Obrenovac (O), Beograd (B) i kontrolno stanište (K)



Slika 27. Spektralna analiza (SEM-EDS) hemijskog sastava čestica na dvogodišnjim četinama *P. nigra* u junu i oktobru: Pančevo (P), Smederevo (S), Obrenovac (O), Beograd (B) i kontrolno stanište (K)



Slika 28. Spektralna analiza (SEM-EDS) hemijskog sastava čestica na listovima *A. hippocastanum* u junu i oktobru: Pančevo (P), Smederevo (S), Obrenovac (O), Beograd (B) i kontrolno stanište (K)



Slika 29. Spektralna analiza (SEM-EDS) hemijskog sastava čestica na listovima *P. acerifolia* u junu i oktobru: Pančevo (P), Smederevo (S), Obrenovac (O), Beograd (B) i kontrolno stanište (K)

Tabela 52. Koncentracija hemijskih elemenata u česticama deponovanim na površini listova ispitivanih vrsta u Pančevu (P), Smederevu (S), Obrenovcu (O), Beogradu (B) i na kontrolnom staništu (K) u junu

		Elementi %														
Vrsta	Lok.	Al	B	C	Ca	Cl	Cu	Fe	K	Mg	Na	O	P	Si	Ti	
<i>P. nigra</i> 1god čet	P	0.46		56.51	16.17			0.41	0.16		0.31	25.17		0.82		
	S	3.24		62.38	0.22			0.86	1.70	0.21		26.97		4.43		
	O			58.85				32.08	2.02			4.83			2.22	
	B	1.60		53.55	0.54			0.39	0.77			31.20		11.94		
	K	0.14		66.86	0.38					0.15		24.78		7.69		
<i>P. nigra</i> 2god čet	P	4.20		50.32	0.24			1.45	1.25	0.46		35.15		6.78	0.16	
	S	1.06		74.94	1.61		0.78	2.16	0.66			16.12		2.66		
	O	1.63		65.20	0.88			0.88	0.64	0.39		27.15		3.24		
	B	1.48		69.82	1.15			2.54	0.49	0.34		19.92		4.26		
	K	9.85			1.85			3.21	3.83			56.60		24.67		
<i>A. hippocastanum</i>	P	2.68		54.93	2.90			0.65	4.17			26.71		7.96		
	S	0.87		48.60	1.77			6.77	0.59	1.09		37.12	0.84	2.11	0.24	
	O			77.26	2.30				0.72	1.08		10.58		8.07		
	B	3.45		51.68	1.44		0.47	4.16	1.20	0.83	0.65	25.88		9.93	0.31	
	K			71.97	2.99	0.33	0.30		3.45	1.12		19.83				
<i>P. acerifolia</i>	P	1.51		61.48	1.73			1.88	1.02	0.46		28.95		2.96		
	S	0.27		58.02	0.84			12.38	0.49			27.49		0.50		
	O	9.42			0.81					10.21		45.76		33.81		
	B	0.22	39.92	20.07	0.13			12.30	0.17	0.18		22.97		4.05		
	K			60.79	5.69					5.29		28.23				

Tabela 53. Koncentracija hemijskih elemenata u česticama deponovanim na površini listova ispitivanih vrsta u Pančevu (P), Smederevu (S), Obrenovcu (O), Beogradu (B) i na kontrolnom staništu (K) u oktobru

		Elementi %													
Vrsta	Lok.	Al	C	Ca	Cl	Cr	Cu	Fe	K	Mg	Mn	Na	O	Si	Ti
<i>P. nigra</i> 1god čet	P		70.71	1.80				12.26	0.75				14.48		
	S		12.09	0.43		1.41	0.94	84.58			0.55				
	O		73.85	2.77				4.18	1.08				16.45	1.67	
	B		64.85	13.07				8.02	1.63				12.43		
	K	0.09	74.42	0.78				0.24	0.47				23.89	0.11	
<i>P. nigra</i> 2god čet	P		68.62				3.52	12.75	3.72				11.39		
	S	3.14	41.62	0.25				1.80	0.60	0.59			41.88	9.93	0.20
	O	0.23	78.49	0.84				0.18	0.36			0.23	19.15	0.52	
	B	11.62		1.31				4.99	3.38	1.50			52.78	24.06	0.36
	K	1.44	66.80	0.54	1.25			0.62	1.02	0.24		1.16	24.81	2.11	
<i>A. hippocastanum</i>	P	3.45	26.24	0.73				15.71	1.29	0.62			39.60	12.35	
	S	14.27		3.19				2.86	5.65	1.41			47.49	24.71	0.43
	O	2.84	53.19	0.97	0.24			2.01	0.72	0.84			33.89	5.30	
	B	0.59	26.78	1.53	0.21			0.71	0.23	0.55			46.95	22.44	
	K	0.71	47.24	0.59				0.41	0.31	0.58			40.56	9.60	
<i>P. acerifolia</i>	P	3.23	42.99	1.40				1.66	0.96	0.70			42.46	6.60	
	S	2.23	46.07	7.20				1.38	0.69	0.51			35.55	6.38	
	O	7.76	28.13	0.93				1.70	0.51	0.59			47.94	12.22	0.21
	B	1.26	42.52	15.38				0.59	0.57				36.77	2.92	
	K	1.73	61.71	1.83	0.24			1.53	0.51	1.38			27.00	4.06	

6. DISKUSIJA

Pančevo, Smederevo, Obrenovac i Beograd, kao i mnogi drugi gradovi u Srbiji i širom sveta sprovode brojne aktivnosti usmerene na uspostavljanje, održavanje postojećih i proširivanje površina pod urbanim šumama. U urbane šume se ubrajaju urbani parkovi, drvoređi, gradski vrtovi, drvenasta vegetacija pored uređenih obala reka, zaštitni pojasevi drveća oko različitih urbanih kompleksa i industrijskih postrojenja i dr. Urbane šume donose ekonomsku, ekološku i socijalnu dobrobit stanovnicima gradova uključujući energetska efikasnost, ublažavanje efekata “gradskih ostrva toplote”, obnavljanje degradovanih urbanih površina i dr. (Freer-Smith et al. 1997; Beckett et al. 1998).

Zajedno sa drugim ekološkim faktorima, fizičko-hemijske karakteristike i nutritivni status zemljišta imaju značajnu ulogu u određivanju diverziteta, vitalnosti, vodnog balansa, mikrokline, rezervi ugljenika i dr. u urbanim šumama. Slično prirodnim, urbana zemljišta pokazuju visok stepen prostorne varijabilnosti, ali se od prirodnih razlikuju po tome što su sastavljena pored prirodnog matriksa i od materijala antropogenog porekla odnosno promenjena su direktnim i/ili indirektnim humanim aktivnostima (Pregitzer et al. 2016). Razlike koje postoje između urbanih zemljišta su rezultat različite dužine trajanja i intenziteta degradacije, načina upravljanja/održavanja urbanih šuma, ali i delovanja niza ekoloških faktora na urbanim staništima (Pouyat et al. 2010). Antropogeni uticaj na zemljište u gradovima uključuje direktni uticaj kroz mešanje, iznošenje ili unošenje zemljišnog materijala i kontaminaciju poreklom iz industrijskih i infrastrukturnih aktivnosti, i indirektni kroz promene u dostupnosti esencijalnih elemenata (Jovanović 1985, 1994; Pouyat et al. 2010). Dosadašnja istraživanja pokazuju da fizičko-hemijske karakteristike urbanih zemljišta omogućavaju rast vegetacije ali da često sadrže visoke koncentracije toksičnih elemenata kao što su teški metali čiji efekat na urbanu vegetaciju nije do sada u potpunosti istražen (Pouyat et al. 2010). S obzirom da su urbana zemljišta veoma varijabilna u pogledu fizičkih i hemijskih osobina, njihov efekat na funkcionisanje biljaka na urbanim staništima se intenzivno ispituje (Dmuchowski and Bytnerowicz 1995; De Nicola et al. 2003; Mingorance and Rossini Oliva 2006; Baycu et al. 2006; Mitrović et al. 2008; Gajić et al. 2009; Sawidis et al. 2011; Pregitzer et al. 2016). Odgovori biljaka na specifične uslove

urbanih staništa su snažno korelisani sa njihovim ekofiziološkim karakteristikama (Gostin 2016), i zato je razumevanje ekofiziološkog odgovora različitih vrsta biljaka na zagađivanje urbanih zemljišta od velikog značaja za uspešno obnavljanje urbanih staništa degradovanih antropogenim aktivnostima. Predmet ove disertacije se upravo odnosi na ispitivanja ekofizioloških karakteristika tri često sađene drvenaste vrste biljaka (*Pinus nigra* Arn., *Aesculus hippocastanum* L., i *Platanus acerifolia* (Ait.) Willd.) i proučavanje njihovog adaptivnog odgovora na efekte stresa zagađivanja u urbanoj sredini, u četiri velika industrijska centra u Srbiji (Pančevo, Smederevo, Obrenovac i Beograd).

6.1 Fizičke i hemijske karakteristike urbanih zemljišta

Urbana zemljišta su značajni rezervoari ugljenika, azota i drugih esencijalnih elemenata koji omogućavaju rast i razvoj biljaka. Zato je proučavanje fizičkih i hemijskih karakteristika urbanih zemljišta od velikog značaja za analizu funkcionisanja drvenastih biljaka i detekciju zagađenja. Fizičke osobine zemljišta pre svega utiču na vodni, vazdušni i termički režim zemljišta, ali i na mikrobiološku aktivnost koja posredno obezbeđuje mineralne materije za razvoj biljaka. Jedna od važnih fizičkih karakteristika zemljišta je granulometrijski sastav odnosno tekstura zemljišta koja se odnosi na procentualnu zastupljenost čestica zemljišta različite veličine. Granulometrijski sastav determiniše brojne druge fizičke osobine poput poroznosti, vodopropustljivosti, kapilarnosti, i dr. (Antić et al. 1982; Jovanović 1985). Na osnovu granulometrijskog sastava i sadržaja frakcija prema klasifikaciji Ćirić (1962) ispitivana zemljišta u gradskim parkovima u Pančevu, Smederevu i Beogradu pripadaju teksturnoj klasi peskovito-glinovite ilovače, sa dominacijom frakcije ukupnog peska. Ovu klasu zemljišta zbog značajnog udela frakcije peska karakteriše dobra propustljivost za vodu i visok nivo aeracije sa jedne, ali i nedostatak organske materije sa druge strane. Zemljišta u Obrenovcu i na kontrolnom staništu pripadaju klasi glinovita ilovača i sadrže relativno ujednačen procenat peska, gline i praha. Ovakav granulometrijski sastav zemljišta ima povoljnije fizičke karakteristike koje podrazumevaju povoljnu dreniranost i veći sadržaj organske materije u odnosu na peskovita zemljišta (Antić et al. 1982). Ove kategorije zemljišta utvrđene na ispitivanim staništima su u saglasnosti sa

ranijim nalazima za neke od ispitivanih lokaliteta: klase praškasto-glinovite ilovače i praškaste ilovače su utvrđene na širem prostoru Smedereva, u okolini železare (Dragović et al. 2014); klase praškasto-glinovite ilovače u okolini Obrenovca (Kostić 2014); klase peskovite ilovače i ilovače na prostoru severoistočnog dela Beograda (Jovanović 1985). Na zemljištima sa ovakvim fizičkim karakteristikama, mogu da rastu drvenaste vrste koje imaju male zahteve u pogledu vlage i mineralnih materija, poput *P. nigra* kojoj najviše pogoduju dobro drenirana i vlažna staništa, ali opstaje i u kompaktnim, skeletnim zemljištima, alkalne reakcije, zatim *A. hippocastanum* kojoj pogoduju peskovito-glinovita zemljišta, blago kisele do alkalne reakcije odnosno *P. acerifolia* vrsta koja podnosi povremenu sušu, raste na dobro dreniranim i kompaktnim zemljištima i toleriše velik opseg pH reakcije zemljišta (pH 5-8) (Antić et al. 1982; Martin-Benito et al. 2010; Linares and Tiscar 2010; Papaioannou 2015).

Sadržaj higroskopne vode u zemljištu zavisi od količine koloidnih čestica odnosno od površine za koju se vezuje higroskopna voda, kao i od kapaciteta katjonske izmene i sadržaja humusa (Saarenketo 1998). Naime, humusom siromašna ili peskovita zemljišta sadrže manju količinu higroskopne vlage i obrnuto (Antić et al. 1982). Rezultati merenja sadržaja higroskopne vlage u urbanim parkovima Pančeva, Smedereva, Obrenovca i Beograda su pokazala prosečno nizak sadržaj higroskopne vlage (od 2.64 u Smederevu do 4.11 % u Pančevu) što potvrđuje nalaz da je u ovim zemljištima dominantna frakcija ukupnog peska. Najveći sadržaj vlage je izmeren u zemljištu u parku u Pančevu (4.11 %), i pored visokog udela frakcije peska, ali razlog tome može biti redovno održavanje parkovskih površina uključujući i redovno navodnjavanje.

Kada je o hemijskim karakteristikama zemljišta reč, jedan od najvažnijih faktora koji kontroliše geohemijsko ponašanje elemenata koji su prisutni u čvrstoj i rastvorljivoj fazi zemljišta je hemijska reakcija zemljišta (pH) koja kontroliše procese sorpcije/desorpcije, usvajanja i hemijsku specijaciju elemenata prisutnih u zemljištu (Balasoiu et al. 2001; Ashraf et al. 2017; Shadid et al. 2017). Negativne korelacije između pH zemljišta i mobilnosti elemenata su često proučavane (Zeng et al. 2011; Li et al. 2013; Caporale et al. 2016; Shadid et al. 2012, 2017). Naime, elementi imaju veću rastvorljivost, mobilnost i biodostupnost na nižim pH vrednostima (pH<7), dok na višim pH (pH>8) bivaju inkorporirani u zemljišni matriks (Shadid et al. 2012). U našim

istraživanjima, izmerene pH_{H_2O} u ispitivanim urbanim zemljištima su se kretale u opsegu od 8.41-8.61, što je u saglasnosti sa ranijim nalazima za šire područje Beograda (prosečna vrednost pH 8.36; Crnković et al. 2006) odnosno u 15 parkova širom Beograda gde je opseg pH varirao od 8 do čak 9.72 (Marjanović et al. 2009). U urbanoj sredini, alkalnost zemljišta može biti rezultat depozicije atmosferskih čestica alkalne reakcije i ugljenika antropogenog porekla, najčešće nastalih sagorevanjem uglja, spiranja proizvoda za čišćenje snega sa ulica u okolno zemljište, korićenja građevinskog materijala koji u sebi sadrži materijale pretežno alkalne reakcije kao što su beton, malter i dr. (Jim 1998; Bielińska and Kołodziej 2009; Bielińska et al. 2013; Parzych and Jonczak 2014). Alkalnost zemljišta je od velikog značaja u zagađenim zemljištima zato što utiče na imobilizaciju potencijalno toksičnih, labilnih formi elemenata na taj način formirajući trajne komplekse sa organskom materijom (Morel 1997; Parzych and Jonczak 2014; Pavlović et al. 2017b). Međutim treba imati u vidu da uvek postoji rizik da ukoliko dođe do promene uslova (promena pH , redoks potencijala), potencijalno toksični elementi postanu biodostupni i tada mogu da dospeju u lanac ishrane, odnosno da putem bioakumulacije imaju direktne ili indirektno toksične efekte za sve činoce u lancu uključujući i biljke (Bielicka-Gieldoń et al. 2013; Parzych and Jonczak 2014).

Potencijalna (supstituciona) kiselost se vezuje za čvrstu zemljišnu fazu i pokazatelj je koliko je kiselih komponenti neophodno da bi čvrsta faza prešla u tečnu ili da bude neutralizovana u interakciji zemljišta sa rastvorima soli (Vorobeveva and Avdonkin 2004). Rezultati merenja pH_{KCl} u ispitivanim urbanim zemljištima su pokazali da se kreće u opsegu od 6.84 izmerenih u Pančevu do 7.0 u parku Pionir u Beogradu, što svrstava ova zemljišta u neutralna. Na teritoriji Srbije, pH_{KCl} je meren u Vojvodini u 15000 uzoraka poljoprivrednog zemljišta gde su dominirale vrednosti slabo alkalne reakcije (pH_{KCl} 7.2-8.2) (Izveštaj o stanju životne sredine u Republici Srbiji za 2012 godinu). Slični rezultati su potvrđeni i za urbana zemljišta u Novom Sadu čiji je opseg vrednosti varirao između 7.19 i 7.89 (Mihailović et al. 2015).

Organski ugljenik (OC) u zemljištu ima ključnu ulogu kako u pedogenetskim procesima, jer utiče na njegovu plodnost, tako i u interakciji zemljište-biljka (Chacón et al. 2005; Jiménez et al. 2011; Saint-Laurent et al. 2014). Organski ugljenik (OC) u zemljištu ima dvojako poreklo, nastaje prirodno procesom dekompozicije biljnih i animalnih ostataka, ili antropogeno kao rezultat zagađivanja (Bielińska et al. 2013;

Pavlović et al. 2017c). Balans ugljenika u terestričnim ekosistemima se može značajno menjati pod direktnim uticajem antropogenih aktivnosti uključujući seču šuma, sagorevanje biomase, preterano korišćenje resursa i zagađivanje. U urbanim zemljištima, antropogeni priliv OC ne može da kompenzuje i zameni prirodni priliv iz mineralizaciji organske materije jer se u ovom slučaju menja hemijska struktura zemljišta usled antropogenog delovanja (Bielińska and Mocek-Płóciniak 2009). Međutim, organski ugljenik u zagađenim zemljištima je veoma značajan jer utiče na redukciju mobilnosti teških metala (Bielička-Giełdoń et al. 2013). Naša istraživanja su pokazala da pozicija parka ima veliki uticaj na sadržaj OC. Naime, najviši sadržaj OC je izmeren u parku u Beogradu (5.56 %) koji je okružen prometnim saobraćajnicama i lociran u blizini velike kotlarnice za grejanje sportske hale, što može biti rezultat i antropogenog priliva ugljenika poreklom iz antropogenih izvora (izduvni gasovi automobila ili kao rezultat nepotpunog sagorevanja goriva koja se koristi za zagrevanje hale). Za razliku od Beograda, u urbanim zemljištima u drugim manjim gradovima i opštinama, njegov sadržaj je značajno niži (2.1 % u Obrenovcu do 3 % u Pančevu), što je u saglasnosti sa nalazima drugih istraživača (Bielińska and Kołodziej 2009; Bielińska et al. 2013).

Organski ugljenik i azot su jedan od značajnih indikatora direktnog uticaja na biohemijske procese u zemljištu pored toga što utiču na vitalnost ekosistema. Diverzitet vrsta i primarna produktivnost ekosistema su pod snažnim uticajem količine esencijalnih elemenata poput azota (N) čije rezerve u zemljištu zavise od procesa mineralizacije organske materije odnosno konverzije organskog N u neorganske forme (NO_3^- and NH_4^+), uz učešće mikroorganizama i pod kontrolom abiotičkih i biotičkih faktora. Azot u zemljištu nastaje mineralizacijom organske materije i korelisan je sa prilivom ugljenika u zemljištu, zbog čega zemljišta sa većim procentom OC imaju i veći sadržaj azotnih jedinjenja (Brady and Weil 2008; Saint-Laurent et al. 2014). Upravo zbog ove pravilnosti, najviši sadržaj N (0.4 %) je izmeren u parku u Beogradu, gde je ujedno bio najviši sadržaj OC, dok je najniži izmeren u Obrenovcu (0.18 %). Odnos C/N je jedan od najvažnijih indikatora kvaliteta staništa odnosno kvalitativnih promena u organskoj materiji zemljišta i kvantitativna mera mineralizacije organske materije zemljišta zbog uzajamne uslovljenosti između organskog ugljenika i azota (Swift et al. 1979). Smatra se da odnos $\text{C/N} < 20$ omogućava bržu dekompoziciju organske materije,

dok $C/N > 20$ zahteva dodatnu količinu N i usporava dekompoziciju organske materije i oslobađanje nutrijenata (Esmailzadeh and Ahangar 2014). Rezultati dobijeni u okviru ove disertacije pokazuju povoljan i ujednačen odnos C/N. Postojeća razlika između najniže vrednosti u Pančevu (9.67) i najviše u Beogradu (13.9) potvrđuje činjenicu da antropogeni priliv ugljenika usporava dekompoziciju. Viši odnos C/N može da bude pokazatelj i slabije razgradnje organske materije (Brady and Weil 2008; Saint-Laurent et al. 2014), i u ovom slučaju odnos C/N može da se posmatra i kao indeks antropogenog pritiska na urbana zemljišta (Bielínska et al. 2013).

6.2 Sadržaj i ponašanje hemijskih elemenata u urbanim zemljištima i drvenastim vrstama biljaka

Koncentracije teških metala u zemljištu su se značajno povećale kako u Evropi, tako i u Srbiji tokom 19. i 20. veka, a rezultat su antropogenih aktivnosti koje uključuju lokalne emisije poreklom iz industrije (termoelektrane, topionice, pogoni hemijske industrije), emisije poreklom iz saobraćaja (čestice izduvnih gasova automobila), emisije poreklom iz domaćinstava, asfaltnih i betonskih površina, građevinskih aktivnosti, i atmosfereke depozicije (Imperato et al. 2003; Nagajyoti et al. 2010; Li et al. 2013; Islam et al. 2015; Marinho Reis et al. 2016). Za razliku od hemijskih elemenata uključujući teških metala koji predstavljaju prirodni fon (background) u zemljištu, koji su rezultat odvijanja geohemijskih procesa i koji najčešće ne predstavljaju rizik po životnu sredinu, elementi koji su proizvod antropogenih aktivnosti utiču na fizičke i hemijske osobine zemljišta i predstavljaju rizik po životnu sredinu i funkcionisanje organizama (D'Amore et al. 2005). Budući da teški metali ne podležu hemijskoj ili mikrobijalnoj degradaciji, imaju tendenciju da se akumuliraju u zemljištu u visokim koncentracijama u dužem vremenskom periodu i da postanu dostupni biljkama (Schuurmann and Markert 1998, Adriano 2001; Nagajyoti et al. 2010; Kuzmanoski et al. 2014). Brojne studije su dokazale zagađivanje urbanih zemljišta na prostoru Evrope, SAD i u drugim delovima sveta, i njihovu distribuciju na prostornoj skali: Pariz (Francuska) (Foti et al. 2017); Palermo (Italija) (Manta et al. 2002; Imperato et al. 2003); Torino (Italija) (Biasioli et al. 2006); Ljubljana (Slovenija), Sevilja (Španija), Baltimor (SAD) (Yesilonis et al. 2008); Stokholm (Linde et al. 2001); Aveiro (Portugalija), Glazgov (Velika Britanija),

Ljubljana (Slovenija), Sevilja (Španija), Torino (Italija) (Davidson et al. 2006) i dr.

Biokoncentracioni faktori (BCF) zemljište-biljka i vazduh-biljka se koriste za proučavanje odnosa koncentracija hemijskih elemenata izmerenih u zemljištu/vazduhu i u biljnim tkivima pri čemu se u ekofiziološkim istraživanjima analizira odnos sadržaja teških metala u biljkama i u zemljištu na kojem rastu. Uprkos kontinuiranim laboratorijskim i terenskim studijama, uloga terestrične vegetacije u transferu hemijskih elemenata iz zemljišta i/ili vazduha u specifična biljna tkiva (koren, list, kora i dr.) još nije u potpunosti proučena kako zbog specifičnih fizičko-hemijskih karakteristika urbane sredine, tako i zbog ekofizioloških adaptacija vezanih za vrstu (Pouyat et al. 2010).

Zbog činjenice da životna sredina predstavlja dinamičan sistem koji se zasniva na procesima kruženja materije i proticanja energije, zagađivanje metalima se mora posmatrati kroz proces njihovog usvajanja iz zemljišta od strane biljke i potencijalno toksičnih efekata na njih (Bielicka-Giełdoń et al. 2013; Kuzmanoski et al. 2014; Parzych and Jonczak 2014). Usvajanje hemijskih elemenata od strane biljaka zavisi od velikog broja abiotičkih i biotičkih faktora, pre svega od njihove koncentracije, mobilnosti i biodostupnosti u zemljištu a biljke mogu da pruže informacije ne samo o tipu i količini zagađujućih materija već i o efektima zagađenja na njih (Tomašević et al. 2008; Aničić et al. 2011).

U našim istraživanjima, meren je i analiziran sadržaj esencijalnih (B, Cu, Fe, Mn i Zn) i neesencijalnih, odnosno potencijalno toksičnih elemenata za biljke (As, Cd, Cr, Ni, Pb, Se i Sr). Zato je jedan od važnih segmenata istraživanja bio usmeren na transfer elemenata iz zemljišta u biljke koje rastu u specifičnim uslovima staništa kakva su antropogeno formirani urbani parkovi u centralnim zonama gradova, koji su ujedno i veliki industrijski centri i kao takvi pod uticajem različitih izvora zagađivanja. Teški metali su prirodne komponente životne sredine i čine sastavni deo stena i minerala koji se postepeno oslobađaju pod uticajem abiotičkih faktora i inkorporiraju u zemljište u procesima pedogeneze (Parzych and Jonczak 2013). Prirodni sadržaj metala u litosferi predstavlja njegov prirodni fon (background) i rezultat je geoloških procesa koji su se odigrali u prošlosti. Esencijalni elementi (B, Cu, Fe, Mn, Mo i Zn) učestvuju u brojnim metaboličkim procesima kao kofaktori ili aktivatori enzimskih reakcija, vezuju proteine, učestvuju u redoks reakcijama, transferu elektrona ili izgrađuju nukleinske kiseline

(Adriano 2001; Nagajyoti et al. 2010). Sa druge strane, u povišenim koncentracijama mogu imati toksične efekte na strukturu i funkcionisanje biljaka (Tomašević et al. 2008; Gajić et al. 2009; Nagajyoti et al. 2010; Mitrović et al. 2012; Kuzmanoski et al. 2014). Neesencijalni elementi, osim što nemaju ulogu u funkcionisanju biljaka mogu imati toksične efekte na njih, čak i u niskim koncentracijama, jer negativno utiču na njihov rast, razvoj i druge fiziološke procese i izazivaju strukturalna oštećenja (Larcher 1995; Fargašova 2001).

U našim istraživanjima, od ispitivanih elemenata, prisustvo Cd i Se nije detektovano ni u jednom analiziranom uzorku zemljišta i biljnog materijala što ukazuje da ovi elementi ne predstavljaju rizik po zemljište i biljke na ispitivanim lokalitetima. Različit sadržaj ostalih analiziranih elemenata (Al, As, B, Cr, Cu, Fe, Li, Mn, Ni, Pb, Sr i Zn) je izmeren u ispitivanim uzorcima zemljišta i biljnog materijala u zavisnosti od sezone, lokaliteta i vrste.

Aluminijum predstavlja jedan od glavnih litofilnih elemenata koji izgrađuje Zemljinu koru, i njegov sadržaj u zemljištima se kreće od 1-4% (Kabata-Pendias and Pendias 2001). U prirodi se nikad ne nalazi kao slobodan element, nego najčešće kao sastavni deo magmatskih stena u vidu alumosilikata ili aluminijum oksida (frakcija peska) (Singh et al. 2017). Antropogeni izvori Al su efluenti otpadnih voda, čvrst otpad i emisije iz industrijskih postrojenja za proizvodnju Al. U uslovima neutralne i bazne reakcije zemljišta ima veoma malu rastvorljivost (Matuš et al. 2006; Khan et al. 2013), međutim u uslovima kisele reakcije ($\text{pH} < 5$) se povećava njegova rastvorljivost i formira hidroksi-Al i polinuklearne lance (Panda et al. 2009). Uredbom Republike Srbije nije propisana njegova maksimalna dozvoljena koncentracija (MDK) (SGRS 1994). U našim istraživanjima, sadržaj Al je u ispitivanim zemljištima značajno varirao i kretao se u opsegu od 10019-33377 mg/kg, izuzev uzoraka zemljišta ispod vrste *A. hippocastanum* iz parka u Beogradu sa visokim sadržajem ovog elementa (50045 mg/kg), što je u proseku slično rezultatima dobijenim za grad Nju Džerzi, SAD (Sanders 2003), i značajno više od grada Novokuybyshevsk, Rusija (4685-7936 mg/kg, Galitskova and Murzayeva 2016), odnosno značajno niže od Madrida, Španija (75700 mg/kg, De Miguel et al. 1998). Korelaciona i PCA analiza ukupnog sadržaja elemenata u urbanim zemljištima u Pančevu, Smederevu, Obrenovcu i Beogradu ukazuju da je Al pretežno geološkog porekla (Tabela 5, Slika 7) sa izuzetkom uzoraka iz parka u Pančevu gde je

njegovo poreklo dvojako, i primetan je uticaj antropogenog faktora. Rezultati sekvencijalne analize su nedvosmisleno potvrdili da je Al pretežno geološkog porekla u svim uzorcima jer je njegov najveći sadržaj ustanovljen u rezidualnoj frakciji (77-87 %), odnosno da je vezan za alumosilikatnu rešetku. Redosled zastupljenosti faza nakon rezidualne je reducibilna>oksidabilna>kiselo rastvorna (samo 0.1-0.3 %). U alkalnim uslovima kakvi su u ispitivanim zemljištima, evidentno je da biljkama ne pretil rizik od njegove potencijalne toksičnosti, uprkos relativno visokoj koncentraciji u zemljištu.

Kada je reč o biljkama, Al se ne može smatrati esencijalnim elementom, iako se sporadično u literaturi navode neke njegove korisne funkcije (Kabata-Pendias and Pendias 2001; Schmitt et al. 2016). Naša ispitivanja su pokazala nekoliko puta veći sadržaj Al u kori u odnosu na isti u četinama i listovima ispitivanih vrsta. Na nivou lokaliteta, najveći sadržaj Al u kori *A. hippocastanum* i *P. acerifolia* je izmeren u parku u Beogradu, a ovako visoke koncentracije se mogu dovesti u vezu sa prašinom koja sadrži Al, ali i sa sagorevanjem fosilnih goriva koji od metala u tragovima najčešće sadrže Al, Fe, Mg, Ni, Ca i V. Na nivou vrste, primetno je da je najveći sadržaj Al u kori *A. hippocastanum* (od 186 mg/kg do 1404 mg/kg), dok se iz dobijenih rezultata ne može utvrditi koja od druge dve vrste bolje usvaja ovaj element jer je njegova akumulacija pod dominantnim uticajem lokaliteta. Sadržaj Al u kori ispitivanih drvenastih vrsta je značajno viši u poređenju sa istim izmerenim u kori drugih drvenastih vrsta: *Morus alba* L. sa urbanih staništa dva velika grada u Argentini (510-949 mg/kg, Buenos Aires; 389-455 mg/kg, Mendoza, Perelman et al. 2010), *Nerium oleander* L. (49.25 mg/kg, Rossini Oliva and Mingorance 2006), *Pinus pinea* L. (278.10 mg/kg, Rossini Oliva and Mingorance 2006). Podaci koji su dobijeni primenom CDA analize su potvrdili da sadržaj Al ima uticaj na razlike između uzoraka kore kod sve tri ispitivane vrste u parkovima u Pančevu i Beogradu (Slika 11), dok na ostalim lokalitetima Al nije imao uticaj.

Iz dobijenih rezultata našeg istraživanja, evidentno je povećanje koncentracije Al u četinama i listovima sve tri vrste tokom vegetacijske sezone. Slične rezultate prosečnog sadržaja Al u listovima (Tabele 22, 53) su u svojim istraživanjima dobili Tomašević et al. (2011) u nekoliko parkova u Beogradu za *A. hippocastanum* (152-251 mg/kg) i *Tilia* sp. (232-323 mg/kg). Koncentracija Al u četinama *Pinus pinea* u industrijskoj zoni (328.25 mg/kg, Huelva, Španija, Rossini Oliva and Mingorance 2006)

je bila viša u poređenju sa četinama *P. nigra* u našem istraživanju. Sa druge strane, koncentracija Al u listopadnim vrstama u našem istraživanju je bila značajno viša u odnosu na iste u listovima *Betula pendula* na urbanim staništima u Plovdivu (36-102 mg/kg, Petrova 2011). Prosečan sadržaj Al u listovima većine biljnih vrsta se kreće oko 200 mg/kg (Hutchinson et al. 1986), međutim nastojanja da se ustanovi njegov kritični prag toksičnosti u biljkama do sada nisu bila uspešna (Miyasaka et al. 2007). U našem istraživanju su se listopadne vrste, pre svega *A. hippocastanum*, potom *P. acerifolia*, pokazale kao bolji akumulatori Al u poređenju sa četinama *P. nigra* (Tabela 23), iako se u literaturi mogu pronaći podaci da se *P. nigra* može smatrati fakultativnim akumulatorom u uslovima povišenog sadržaja Al (Miyasaka et al. 2007). Podaci koji su dobijeni primenom CDA analize su potvrdili da sadržaj Al ima uticaj na razlike između četina i listova ispitivanih vrsta u parkovima u Obrenovcu, Beogradu i na kontrolnom staništu (Slika 13), dok na ostalim lokalitetima Al nije imao uticaj.

Iako je čest element u litosferi sa velikim afinitetom ka formiranju minerala, migracija As je značajno limitirana zbog njegove snažne sorpcije za čestice gline i organsku materiju. Opseg normalnih koncentracija As u zemljištima peskovite i praškasto ilovaste tekture se kreće u rasponu od <0.1-30 mg/kg (Kabata-Pendias and Pendias 2001). Najniži sadržaj As je utvđen u peskovitim zemljištima sa niskim sadržajem organske materije, pri čemu se pri pH>8 njegova rastvorljivost i afinitet da gradi okside sa metalima smanjuje. Maksimalno dozvoljene koncentracije u zemljištu, propisane Uredbom Republike Srbije iznose 25 mg/kg (SGRS 1994). Različiti sadržaj As je izmeren u uzorcima zemljišta iz parka u Smederevu (10.05-12.23 mg/kg), u uzorcima ispod *A. hippocastanum* i *P. acerifolia* iz parka u Obrenovcu (9.56-9.89 mg/kg), kao i u zemljištu ispod *A. hippocastanum* iz parka u Beogradu (11.15 mg/kg). Na teritoriji Srbije Crnković et al. (2006) su na uzorku od 46 zemljišnih profila na širokom području Beograda dobili prosečne niže vrednosti sadržaja As od 7.2 mg/kg, dok je istraživanje Mihailović et al. (2015) na 121 uzroku urbanog zemljišta na širem području Novog Sada pokazalo još niže vrednosti (6.5 mg/kg). U zemljištu severozapadne Kine prosečne vrednosti As u istraživanju Feng-Rui et al. (2007) na 41 uzorku zemljišta su bile slične našim rezultatima (10.1-11.1 mg/kg), kao i u istraživanju Arunachalam et al. (1996) u šumskom zemljištu (13 mg/kg, Saarbrücken, Nemačka).

Cheng et al. (2014) su ispitivali sadržaj As u urbanim zemljištima u čak trideset jednom gradu u Kini, gde je opseg koncentracija As varirao od 4.6-28.2 mg/kg.

Prisustvo As nije detektovano ni u jednom uzorku biljnog materijala.

Bor je metaloid koji nije uniformno zastupljen u Zemljinoj kori. Vezuje se za organsku materiju u zemljištu i ima ga u velikim količinama u karbonatnim zemljištima (Kabata-Pendias and Pendias 2001). Relativno snažno se vezuje i za organske i za neorganske komponente u zemljištu, a sa povećanjem pH reakcije zemljišta se povećava njegova mobilnost i biodostupnost, zbog čega se smatra jednim od najmobilnijih elemenata (Goldberg et al. 2000; Kabata-Pendias and Pendias 2001). Osim prirodnog, ovaj element se oslobađa i iz antropogenih izvora (industrija keramike i stakla, hemijska industrija, rudarstvo, termoelektrane i dr.). Može se javiti u formi aerosola ili suvih čestica (<1-45 μm). Na globalnom nivou, prosečan sadržaj B u peskovitim zemljištima se kreće oko 134 mg/kg. Sadržaj B u ispitivanim parkovskim zemljištima je bio viši od MDK po Uredbi RS koja iznosi 50 mg/kg (SGRS 1994). Povišen sadržaj B (105-214 mg/kg) u zemljištima urbanih parkova je najverovatnije rezultat alkalne reakcije (Kabata-Pendias and Pendias 2001), kao i sušnih uslova na staništima koji su vladali tokom perioda istraživanja (Camacho-Cristobal et al. 2008). Nedostatak padavina limitira ispiranje B, što uzrokuje njegovu akumulaciju u površinskim slojevima zemljišta. Pored navedenog, lokalni uslovi vezani za specifične izvore zagađivanja takođe doprinose povećanoj akumulaciji ovog elementa u zemljištu pa su tako najviše koncentracije B izmerene u uzorcima zemljišta iz parka u Obrenovcu, u gradu u čijoj je neposrednoj blizini locirana termoelektrana „Nikola Tesla-A” i deponija pepela i šljake na površini od 400 ha koji predstavljaju značajne izvore ovog elementa bilo kroz emisiju iz dimnjaka termoeletrane bilo putem rasipanja čestica pepela sa deponije (Pavlović et al. 2004; Mitrović et al. 2008). U prilog tome govore rezultati analize porekla i korelisanosti sadržaja B u zemljištu i biljakama. Naime, poreklo B je sa jedne strane prirodno, kao prirodan element zemljišta, ali i antropogeno iz procesa sagorevanja uglja koji sadrži veliku količinu ovog elementa (Tabela 5, Slika 7). To je potvrdila i sekvencijalna analiza uzoraka zemljišta u kojima je najveći udeo B ekstrahovan u rezidualnoj fazi (49.5-70.8 %) što znači da je vezan za kristalnu strukturu minerala. Međutim, 11.5-19.4 % B je ekstrahovano u kiselo-rastvornoj/izmenjivoj fazi (Slika 8) zbog čega je on lako dostupan biljkama. Kiselo-rastvorna/izmenjiva faza je

najaktivnija, najmobilnija i najdostupnija jer su elementi u ovoj frakciji adsorbovani slabim elektrostatičkim interakcijama sa površinom zemljišta i lako se oslobađaju.

Bor je jedan od esencijalnih mikronutrijenata koji je u malim koncentracijama neophodan biljkama za sintezu i translokaciju šećera i druge fiziološke procese (Gupta 2007), ali u većim koncentracijama ima toksične efekte. Jedinstven je u poređenju sa svim drugim esencijalnim nutrijentima u smislu da u određenim biljnim vrstama ima ograničenu mobilnost, dok je u drugim izuzetno mobilan, odnosno uzak je opseg između njegovog nedostatka i potencijalne toksičnosti (Brown and Shelp 1997; Reid et al. 2004). Njegovo usvajanje od strane viših biljaka je u direktnoj zavisnosti od njegovog sadržaja, ali i od pH zemljišnog rastvora, forme B, kao i transpiracije biljaka i pod kontrolom je permeabilnosti membrane (Marschner 1995; Goldberg et al. 2000; Kabata-Pendias and Pendias 2001). Upravo različite genetičke varijacije koje postoje u biljkama omogućavaju njihov adekvatan odgovor u uslovima visoke koncentracije B (Nable et al. 1997). Tolerancija biljaka na B se značajno razlikuje između različitih biljnih vrsta (Ferreya et al. 1997).

Sadržaj B u kori ispitivanih drvenastih vrsta je pokazao pravilnu sezonsku i prostornu distribuciju pri čemu je najviši sadržaj u kori sve tri vrste izmeren u parku u Smederevu, a najniži u kori *P. nigra* i *P. acerifolia* sa kontrolnog staništa, i u kori *A. hippocastanum* iz parka u Pančevu. U odnosu na naša istraživanja gde je sadržaj B u kori *P. nigra* iznosio od 3.64-13.09 mg/kg, njegov sadržaj u istraživanju Dolobovskaya (1975) u kori različitih vrsta roda *Pinus* u Ukrajini je bio niži (4.5 mg/kg). Sadržaj B u kori je bio nekoliko puta niža u poređenju sa četinama/listovima i sličan odnos koncentracija B u kori i listovima je utvrđen u istraživanjima Reimann et al. (2007) kod vrste *Betula pubescens*, i Pavlović et al. (2017a) kod vrste *Betula pendula*. Pirsonova korelaciona matrica je pokazala negativnu korelaciju između sadržaja B u kori drveća i u zemljištu kod *P. nigra* ($r=-0.936^*$) i *P. acerifolia* ($r=-0.936^*$) u avgustu u Smederevu, što ukazuje da nije akumuliran iz zemljišta. Podaci koji su dobijeni primenom CDA analize su potvrdili da sadržaj B ima veliki uticaj na razlike između uzoraka kore sve tri ispitivane vrste u parkovima u Pančevu i Smederevu (Slika 11), dok na ostalim lokalitetima B nije imao uticaj.

Normalan sadržaj B u listovima različitih vrsta varira u širokom opsegu između 10 mg/kg i 100 mg/kg, ali da se simptomi toksičnosti mogu javiti već pri

koncentracijama od 50 mg/kg (Kabata-Pendias and Pendias 2001). Bor se u literaturi često navodi kao jedan od najtoksičnijih fitonutrijenata zbog svoje velike rastvorljivosti (Adriano 2001). Rezultati našeg istraživanja su pokazali prostornu i vremensku pravilnost. Opseg variranja B tokom sezone je kod svih vrsta bio veliki (*P. nigra*- 7.15-65.72 mg/kg; *A. hippocastanum*- 16.83-264.05 mg/kg; *P. acerifolia*- 23.27-112.54 mg/kg), ali su se listopadne vrste pokazale kao bolji akumulatori B u poređenju sa četinama. Dvogodišnje četine *P. nigra* su imale veći sadržaj B u odnosu na jednogodišnje, što je rezultat njene translokacije putem ksilema, koja utiče na njegovu veću akumulaciju u starijim listovima (Kabata-Pendias and Pendias 2001). Toksične koncentracije (>100 mg/kg) B u listovima *A. hippocastanum* su utvrđene u parku u Smederevu tokom cele sezone, u parku u Beogradu u avgustu (157.27 mg/kg) i oktobru (171.50 mg/kg), ali i u listovima *P. acerifolia* iz parka u Obrenovca u oktobru (112.54 mg/kg). Rezultati istraživanja na listovima *Betula pendula* u urbanim parkovima u nekoliko gradova u Srbiji su pokazali toksičan sadržaj B u Smederevu i Beogradu (Pavlović et al. 2017a). Korelaciona analiza je pokazala visoku korelisanost B u četinama i listovima ispitivanih vrsta sa njegovim sadržajem u zemljištu, što ukazuje na moguće dvojako poreklo B (akumulacija iz zemljišta, depozicija iz vazduha). Biokoncentracioni faktor u listovima *A. hippocastanum* iz parkova u Smederevu (1.364) i Beogradu (1.206) je bio veći od 1, što pokazuje da u uslovima visokog sadržaja ukupnog B, *A. hippocastanum* najveći deo transportuje u list, pa se na lokalitetima u Smederevu i Beogradu, ova vrsta može potencijalno koristiti u fitostabilizaciji ovog elementa u zemljištu. Rezultati dobijeni primenom CDA analize su pokazali da sadržaj B ima veliki uticaj na razlike između uzoraka četina i listova na svim ispitivanim lokalitetima po prvoj, drugoj, a nekad i na obe diskriminantne funkcije (Slika 13).

Hrom je element koji je sveprisutan u životnoj sredini (Adriano 2001). Jedinstven je u odnosu na druge potencijalno toksične elemente u smislu da je jedini čija se toksičnost reguliše u zavisnosti od njegovog valentnog stanja Cr(III) ili Cr(VI), a ne na osnovu njegove ukupne koncentracije (Kimbrough et al. 1999). U prirodi se najčešće javlja u trovalentnoj formi Cr(III) u mineralu hromitu, odnosno ima geogeno poreklo zbog čega njegov prirodni sadržaj u zemljištu zavisi od matične stene (Kabata-Pendias and Pendias 2001). Na globalnom nivou, prosečan sadržaj Cr u peskovitim zemljištima se kreće u opsegu od 10-50 mg/kg (Adriano 2001), a MDK propisana Uredbom RS

iznosi 100 mg/kg (SGRS 1994). Hrom i njegova jedinjenja imaju raznovrsnu upotrebu u industriji pa se intenzivno koristi u proizvodnji štavljenja kože, vatrostalnog čelika, sredstava za čišćenje metalnih prevlaka, hromne kiseline i drugih hemikalija, kao i u metalurgiji (Shanker et al. 2005). Rezultati našeg istraživanja su pokazali da je Cr na svim lokalitetima bio iznad prosečnih vrednosti za svetska zemljišta (67-126 mg/kg), a u parkovima u Smederevu (*P. nigra* 126 mg/kg, *A. hippocastanum* 98 mg/kg, *P. acerifolia* 105 mg/kg), i Obrenovcu u zemljištu ispod *A. hippocastanum* (125 mg/kg) i *P. acerifolia* (101 mg/kg) neznatno iznad MDK (>100 mg/kg, SGRS 1994). Na nivou lokaliteta, parkovi u Smederevu i Obrenovcu su se izdvojili po najvišim koncentracijama Cr, što se može dovesti u vezu sa izvorima zagađenja. Izmerene prosečne koncentracije Cr u našem istraživanju (Tabela 53) su bile više u odnosu na vrednosti izmerene u urbanom zemljištu Madrida (75 mg/kg, De Miguel et al. 1998), Napulja (11 mg/kg, Imperato et al. 2003), Palerma (39 mg/kg, Manta et al. 2002), Sevilje (39 mg/kg, Madrid et al. 2002), Glazgova (34 mg/kg) i Ljubljane (48 mg/kg, Davidson et al. 2006), ali niže od prosečnog sadržaja Cr izmerenog u Torinu (191 mg/kg, Biasioli et al. 2006). Rezultati merenja sadržaja Cr u zemljištima na teritoriji Srbije, na širem području Beograda (Crnković et al. 2006) su pokazali značajno niže prosečne vrednosti (32.1 mg/kg) u poređenju sa našim. U istraživanju Andrejić et al. (2016) sadržaj Cr u zemljištu sa 18 lokaliteta u užoj gradskoj zoni Beograda (bulevari i gradski parkovi) je bio u rangu prosečnih vrednosti za svetska zemljišta (38-64 mg/kg). Nešto više koncentracije Cr u centralnoj zoni Beograda (70.23 mg/kg) su izmerili Gržetić and Ghariani (2008). U urbanom zemljištu Novog Sada na 121 uzorku, srednja vrednost Cr je iznosila 28 mg/kg (Mihailović et al. 2015). Dragović et al. (2008) su na 174 uzorka zemljišta sa planine Zlatibor dobili prosečne vrednosti Cr 46 mg/kg. Skorašnja istraživanja Kuzmanoski et al. (2014) sprovedena u 4 urbana parka u Beogradu su pokazala prosečno slične vrednosti Cr (92-121 mg/kg) dobijenim u našem istraživanju. Rezultati korelacione i PCA analize na ukupnom sadržaju elemenata u urbanim zemljištima u Pančevu, Smederevu, Obrenovcu i Beogradu ukazuju da je Cr geološkog porekla (Tabela 5, Slika 7), ali da je evidentan uticaj i antropogenog faktora. U Smederevu i Obrenovcu osim geološkog porekla je izražen uticaj drugog faktora koji se može definisati kao antropogeni. U parku u Beogradu i na kontrolnom staništu, Cr zajedno sa Mn ima dvojako poreklo, odnosno pored prirodnog, evidentan je i

antropogeni izvor. Rezultati sekvencijalne analize su u saglasnosti sa rezultatima korelacione i PCA analize. Hrom je u zemljištu pretežno geološkog porekla, odnosno vezan za kristalnu rešetku (65-85 %) i kao takav nedostupan biljkama. Međutim njegova procentualna zastupljenost u reducibilnoj (do 16.6 %) i oksidabilnoj fazi (do 21.3 %) ga čini potencijalno dostupnim u slučaju promene pH i redoks potencijala u zemljištu. Hrom je u kiselo-rastvornoj/izmenjivoj frakciji izmeren samo u zemljištu ispod *P. nigra* u parku u Beogradu (Slika 8).

Hrom je neesencijalan i toksičan element za biljke. Njegov mehanizam absorpcije i translokacije je sličan kao za Fe, što može da ima toksične efekte na metabolizam biljaka (Kabata-Pendias and Pendias 2001; Shanker et al. 2005). Poreklo Cr u biljnim tkivima je najčešće antropogeno. Hrom je izmeren u kori *P. nigra* (1.21-7.64 mg/kg) i *A. hippocastanum* (0.90-12.61 mg/kg) tokom sva tri sezonska preseka, dok je u kori *P. acerifolia* detektovan samo u uzorku iz avgusta (0.65-3.17 mg/kg) (Tabela 20). U kori *P. nigra* u junu i avgustu na kontrolnom staništu, sadržaj Cr je bio ispod nivoa detekcije. Ovaj element u kori *A. hippocastanum* je pokazao pravilnu sezonsku i prostornu distribuciju, pri čemu su se izdvojila dva lokaliteta Smederevo i Beograd, gde su izmerene najviše koncentracije Cr. Na nivou vrste, naše istraživanje je pokazalo da kora *A. hippocastanum* najbolje akumulira Cr, potom kora *P. nigra* i na kraju kora *P. acerifolia*. Nizak sadržaj Cr u kori *P. acerifolia* se može dovesti u vezu sa njenim morfološkim karakteristikama (glatka tekstura i periodično ljušpanje i otpadanje). U poređenju sa rezultatima našeg istraživanja, koncentracije Cr u kori *P. nigra*, *P. pinea*, *P. sylvestris* i *P. acerifolia*, u istraživanjima sprovedenim u evropskim gradovima su bile značajno niže (Rossini Oliva and Mingorance 2006; Sawidis et al. 2011; Kosiorek et al. 2016).

Normalnim i prosečnim vrednostima Cr u listovima biljkama se smatra opseg od 0.1-0.5 mg/kg, dok se vrednosti iznad 5 mg/kg smatraju toksičnim (Tabela 53, Kabata-Pendias and Pendias 2001). U junu je Cr bio ispod granice detekcije aparata u svim uzorcima listova. U avgustu je je izmeren u četinama *P. nigra* (0.67-1.03 mg/kg), i ponegde u listovima *P. acerifolia* (0.93-1.27 mg/kg), dok je u oktobru Cr izmeren u četinama i listovima svih ispitivanih vrsta na svim lokalitetima. Na nivou vrste, listovi *A. hippocastanum* su se pokazali kao bolji akumulatori Cr u poređenju sa četinama *P. nigra* i listovima *P. acerifolia* u oktobru. Uprkos činjenici da su svi dobijeni rezultati

viši od prosečnih vrednosti za biljke (Tabela 53), samo su listovi *A. hippocastanum* iz parka u Beogradu sadržali toksične koncentracije Cr (6.41 mg/kg). Izmerene prosečne koncentracije Cr u našem istraživanju u četinama i listovima ispitivanih vrsta su bile više u odnosu na četine *P. nigra* i listove *P. acerifolia* u istraživanju Sawidis et al. (2011), i četinama *P. sylvestris* (0.33 mg/kg, Kosiorek et al. 2016). Petogodišnje istraživanje Aničić et al. (2011) u urbanim parkovima Beograda na listovima *A. hippocastanum* i *Tilia* spp. je pokazalo da je Cr relativno stabilan i da mu se koncentracije slabo menjaju, a kretale su se u opsegu od 0.1-1.9 mg/kg. Slični rezultati su dobijeni i u istraživanju Tomašević et al. (2011) u urbanim parkovima Beograda, gde je prosečni sadržaj Cr u listovima *A. hippocastanum* bio 0.93-1.95 mg/kg, odnosno 1.06-2.40 mg/kg kod *Tilia* spp. Nasuprot tome, prosečne vrednosti Cr u četinama *P. eldarica* u urbanim i industrijskim zonama su bile slične našim (2.04-3.97 mg/kg, Teheran, Iran, Kord et al. 2010).

Bakar u zemljištu ima veliku sposobnost interakcije sa drugim mineralima, frakcijom gline, organskom materijom i oksidima gvožđa i mangana. Jedan je od najmanje mobilnih metala i pokazuje relativno male varijacije u ukupnom sadržaju u zemljišnom profilu. Najčešće se akumulira u površinskim slojevima zemljišta što se može dovesti u vezu sa brojnim faktorima, ali najviše sa antropogenim izvorima zagađenja (Adriano 2001; Kabata-Pendias and Pendias 2001). Prosečan sadržaj Cu u svetskim zemljištima se kreće u opsegu od 13-24 mg/kg, a MDK propisane Uredbom RS iznose 100 mg/kg (SGRS 1994). Koncentracije Cu u ispitivanim zemljištima izmerene u našem istraživanju su bile u opsegu prosečnih vrednosti za svetska zemljišta (14.28-22.39 mg/kg, Tabele 2, 53), izuzev neznatno viših izmerenih na kontrolnom staništu (36.98 mg/kg) i parkovima u Smederevu (64.13 mg/kg) ispod *P. nigra*, kao i Beogradu (40.95 mg/kg) i Smederevu (35.84 mg/kg) ispod *A. hippocastanum*. Takođe, bile su ispod MDK propisane Uredbom RS (SGRS 1994). Prosečan sadržaj Cu u urbanim zemljištima, u našem istraživanju (Tabele 2, 53) je bio niži u odnosu na vrednosti izmerene u urbanom zemljištima Madrida (72 mg/kg, De Miguel et al. 1998), Napulja (74 mg/kg, Imperato et al. 2003), Palerma (77 mg/kg, Manta et al. 2002), Sevilje (68 mg/kg, Madrid et al. 2002), Glazgova i Ljubljane (111 mg/kg, 133 mg/kg, Davidson et al. 2006) i Torina (90 mg/kg, Biasoli et al. 2006). Crnković et al (2006) su u svom istraživanju dobili nešto više prosečne vrednosti Cu u Beogradu (29 mg/kg), kao

i Kuzmanoski et al. (2014) (25-86 mg/kg), ali i Mihailović et al. (2015) u urbanom zemljištu Novog Sada (38.3 mg/kg). Značajno više prosečne vrednosti Cu u centralnim zonama Beograda (122 mg/kg) su dobijene u istraživanju Gržetić and Ghariani (2008). Rezultati analize porekla sadržaja Cu u zemljištu i biljkama pokazuju da je sa jedne strane poreklo Cu litogeno ali da je evidentan i antropogeni uticaj (Tabela 5, Slika 7). U parku u Pančevu, poreklo Cu je geogeno, dok je u parkovima u Smederevu, Obrenovcu i na kontrolnom staništu ono dvojako, odnosno pored prirodnog, prisutan je i antropogeni faktor. Sa druge strane u parku u Beogradu, Cu formira zaseban klaster zajedno sa Pb i Zn koji su elementi pretežno antropogenog porekla (saobraćaj) (Slika 7). Rezultati sekvencijalne analize su u saglasnosti sa rezultatima PCA analize. U parkovima u Pančevu, Obrenovcu i na kontrolnom staništu poreklo Cu je u najvećem procentu geogeno (Slika 8). Druga najzastupljenija faza je vezana za organsku materiju i sulfide (oksidabilna) do 42 %, pa potom reducibilna do 31 %. Zbir ove dve faze je u zemljištu ispod sve tri vrste u parkovima u Smederevu, i Beogradu ispod *A. hippocastanum* bio viši od rezidualne, što u ovom slučaju čini Cu potencijalno dostupnim biljkama u slučaju promene uslova pH i redoks potencijala u zemljištu. Više prosečne vrednosti Cu u parku u Smederevu su verovatno lokalnog karaktera i njihovo poreklo se može dovesti u vezu sa proizvodnim pogonom železare Smederevo koja koristi rudu bogatu Cu kao osnovnu sirovinu za proizvodnju čelika (Adriano 2001; Pavlović et al. 2017c), dok je u Beogradu najverovatnije poreklom iz saobraćaja (korozija i habanja kočnica i šasija vozila, Van Bohemen and Van de Laak 2003).

Bakar je esencijalan element koji ima značajnu ulogu u brojnim fiziološkim procesima: fotosintezi, respiraciji, distribuciji ugljenih hidrata, u rezistenciji na patogene i dr. Nedostatak Cu limitira obavljanje normalnih fizioloških procesa jer smanjuje aktivnost enzima, izaziva diskoloraciju određenih tkiva, utiče na turgor u ćelijama, a u visokim koncentracijama ima toksične efekte (Kabata-Pendias and Pendias 2001; Kopsell and Kopsell 2007). Njegov sadržaj varira u zavisnosti od biljnog tkiva, razvojnog stadijuma i vrste (Parzych and Jonczak 2013). Akumulacija Cu od strane biljaka je pod uticajem brojnih faktora poput pH, hemijskog oblika i koncentracije Cu u zemljištu (Kopsell and Kopsell 2007). Najveći sadržaj Cu tokom sezone u kori *P. nigra* je izmeren na kontrolnom staništu (10.48-11.27 mg/kg), dok je u kori *A. hippocastanum* izmeren u parku u Beogradu (28.89-63.97 mg/kg). U kori sve tri ispitivane vrste je

izmeren relativno ujednačen sadržaj Cu, izuzev kod *A. hippocastanum* iz parka u Beogradu (Tabela 10), i kore *P. acerifolia* sa kontrolnog staništa koji su imali viši sadržaj. U odnosu na četinama i listove, u kori je akumuliran nešto veći sadržaj Cu. Istraživanje Parzych et al. (2017) je pokazalo da akumulacija Cu direktno zavisi od strukture odnosno poroznosti kore, a njegova koncentracija u kori nekoliko vrsta rodova *Pinus* je varirala u opsegu od 6.9-10.1 mg/kg, što se u značajnoj meri podudara sa sadržajem Cu u kori *P. nigra* u našem istraživanju (3.30-11.27 mg/kg). Nešto niži sadržaj Cu su dobili Kosiorek et al. (2016) (1.26-2.28 mg/kg) u kori *P. sylvestris*, dok su rezultati Sawidis et al. (2011) ukazali na značajno viši u kori *P. nigra* (18.35 - 37.90 mg/kg), i u kori *P. acerifolia* (16-27 mg/kg). Slično, Rossini Oliva and Mingorance (2006) su izmerili veći sadržaj u kori *P. pinea* (43.65 mg/kg). Na nivou vrste, najviše Cu je akumulirano u kori *A. hippocastanum*. Pirsonov korelacioni koeficijent je pokazao negativnu korelaciju između sadržaja Cu u kori *A. hippocastanum* i zemljišta u oktobru u Smederevu ($r=-0.879^*$) što ukazuje da je Cu poreklom iz vazduha. Biokoncentracioni faktor je u kori *A. hippocastanum* iz parka u Beogradu (BCF=1.081) i sa kontrolnog staništa (1.649) imao veće vrednosti od 1, što pokazuje da se u uslovima visokog sadržaja ukupnog Cu, veliki njegov deo transportuje u koru. Rezultati dobijeni primenom CDA analize su pokazali da sadržaj Cu ima veliki uticaj na razlike između uzoraka kore kod sve tri vrste u parkovima u Smederevu i Beogradu (Slika 11).

Najviši sadržaj Cu u četinama i listovima je izmeren u junu, a najniži u avgustu (Tabela 26). Sadržaj Cu je pokazao pravilnu prostornu distribuciju, pa su tako najviše vrednosti u četinama *P. nigra* izmerene na kontrolnom staništu, a kod listopadnih vrsta u parku u Beogradu. Prema Baker and Seneft (1995) prosečan sadržaj Cu u biljnim tkivima se kreće oko 10 mg/kg, dok Kabata-Pendias and Pendias (2001) smatraju da je za optimalan razvoj i normalno fiziološko funkcionisanje biljaka neophodno 5-30 mg/kg u zavisnosti od vrste, a da se deficit javlja pri koncentracijama <5 mg/kg (Tabela 53). Iz dobijenih rezultata, u četinama *P. nigra* (1.27-5.56 mg/kg, izuzev sa kontrolnog staništa), u listovima *A. hippocastanum* (2.49-10.78 mg/kg, izuzev parka u Beogradu) i *P. acerifolia* (1.47-8.84 mg/kg, izuzev parka u Beogradu) se uočava da su vrednosti Cu tokom cele sezone bile oko ili ispod opsega normalnih vrednosti za biljke (5-30 mg/kg, Tabele 26, 53). Na nivou lokaliteta, više koncentracije Cu u listovima *A. hippocastanum* i *P. acerifolia* u parku u Beogradu su verovatno rezultat zagađenja poreklom iz

saobraćaja, pre nego usvajanje iz zemljišta (Harrison et al. 2003). Deficit Cu koji je prisutan u biljkama sa svih ispitivanih lokaliteta izuzev parka u Beogradu, uprkos njegovoj dovoljnoj koncentraciji u zemljištu može da se objasni na nekoliko načina. Pre svega, tkivo korena može da ima razvijene mehanizme da spreči transport Cu ka listovima. Zatim, bakar je jedan od najmanje mobilnih elemenata, a u zemljištu se vezuje za organske komplekse i usko je povezan sa hemijskom reakcijom zemljišta. Takođe, ukupna rastvorljivost i katjonskih i anjonskih formi Cu se smanjuje na $\text{pH} > 8$ (Kabata-Pendias and Pendias 2001). Rezultati dobijeni primenom CDA analize su pokazali da sadržaj Cu nema uticaj na razlike između uzoraka četina i listova na bilo kom lokalitetu (Slika 13). Sadržaj Cu je na lokalitetima u Pančevu, Smederevu i Obrenovcu bio ujednačen tokom sva tri sezonska preseka u četinama i listovima sve tri ispitivane vrste. Njegova akumulacija kod listopadnih vrsta je bila uslovljena lokalitetom, zbog čega se ne može izvesti objektivni zaključak o potencijalno efikasnijem akumuliranju ovog elementa od strane bilo koje vrste.

Gvožđe je jedan od najzastupljenijih elemenata u litosferi i najčešće se nalazi u sastavu u magmatskih stena (Kabata-Pendias and Pendias 2001). Reakcije Fe su određene faktorima poput uslova Eh-pH, teksture zemljišta i stepena oksidacije jedinjenja Fe (Kabata-Pendias and Pendias 2001; Colombo et al. 2014). Alkalni uslovi u zemljištu utiču na njegovo taloženje i imobilizaciju, dok kiselost zemljišta dovode do povećanja njegove rastvorljivosti. Prosečan sadržaj Fe u zemljištu varira od 0.5 do 5 % i zavisi od procesa raspadanja matične stene (Kabata-Pendias and Pendias 2001). Uredbom RS za ovaj element nije propisana MDK (SGRS 1994). Koncentracija Fe u našem istraživanju je bila relativno ujednačena u zemljištima ispod *P. nigra* (26-31 g/kg) i *P. acerifolia* (21-30 g/kg). Značajnije variranje u sadržaju Fe je izmereno u zemljištu ispod *A. hippocastanum* (17-37 g/kg). Najveći sadržaj Fe u zemljištu ispod ispitivanih vrsta je izmeren u parku u Obrenovcu što se može dovesti u vezu sa specifičnim izvorom zagađivanja, poreklom iz termoelektrane i deponije pepela i šljake „Nikola Tesla-A”. Naime, leteći pepeo koji nastaje sagorevanjem uglja predstavlja kompleksni heterogeni materijal praškaste teksture koji u svom hemijskom sastavu između ostalog sadrži velike količine Fe_2O_3 (Kukier et al. 1994). Prosečan sadržaj Fe u istraživanim zemljištima (Tabele 2 i 53) je sličan izmerenim u urbanim parkovima u Sevilji (20-21 g/kg, Madrid et al. 2002), i Beogradu 24-35 g/kg (Kuzmanoski et al.

2014), i nešto viši u odnosu na urbano zemljište u Valekamoniki (2.5-14 g/kg, Borgese et al. 2013) i Koszalinu (5-13 g/kg, Bielicka-Giełdoń et al. 2013). PCA analiza ukupnog sadržaja elemenata u urbanim zemljištima u parkovima u Pančevu, Smederevu, Obrenovcu i Beogradu ukazuju da je Fe u zemljištu dominantno geogenog porekla (Tabela 5, Slika 7). U prilog tome govore i rezultati sekvencijalne analize koji su potvrdili da je Fe čvrsto vezano za kristalnu rešetku minerala (82-94 %), odnosno da je prirodno, imobilno i nedostupno biljkama. Mali udeo je prisutan u reducibilnoj (do 9.8 %) i oksidabilnoj fazi (do 7.1 %), a samo 0.002-0.4 % je sadržano u jonoizmenjivačkoj fazi, odnosno dostupno biljkama (Slika 9).

Gvožđe je esencijalni nutrijent za biljke čija je glavna uloga u transportu elektrona u procesima fotosinteze i respiracije (Connolly and Guerinot 2002). Njegov nedostatak utiče na normalno fiziološko funkcionisanje biljaka, a u visokim koncentracijama je toksičan. Usvajanje i transport Fe u biljnom tkivu zavise od fizičko-hemijskih osobina zemljišta pH, koncentracije Ca i P, ali i od ekofizioloških karakteristika biljaka (Kabata-Pendias and Pendias 2001).

Opseg variranja Fe u kori ispitivanih vrsta je bio veliki (*P. nigra*- 96-1125 mg/kg; *A. hippocastanum*- 238-2671 mg/kg; *P. acerifolia*- 54-957 mg/kg), a dva lokaliteta koja su se izdvojila po najvišim koncentracijama su parkovi u Smederevu i Beogradu. Na nivou vrste, naša istraživanja su pokazala najveći sadržaj Fe u kori *A. hippocastanum*, potom u kori *P. nigra* i na kraju u kori *P. acerifolia*. U poređenju sa četinama i listovima, kora je sadržala značajno veće koncentracije Fe. Rezultati istraživanja Parzych et al. (2017) su pokazali da postoje velike razlike u sadržaju ovog elementa u kori različitih vrsta roda *Pinus* (253.8-1122.7 mg/kg), čime su potvrdili da na potencijalno usvajanje nekog elementa utiče više faktora: karakteristike vrste, struktura kore, ali i antropogeni uticaj. Razlike u nivou akumulacije su uočljive i na nivou vrste, pa je tako sadržaj Fe u kori *Pinus sylvestris* u istraživanju Galuszka (2005) varirao u uskom opsegu od 254-470 mg/kg, dok je u istraživanju Kosiorek et al. (2016) sadržaj Fe bio u širokom opsegu 390-2262 mg/kg. Sawidis et al. (2011) su u svom istraživanju izmerili 325-413 mg/kg Fe u kori *P. acerifolia*, odnosno 171-327 mg/kg u kori *P. nigra*, što nije u saglasnosti sa našim rezultatima, pošto se u našem istraživanju kora *P. nigra* pokazala kao efikasnija u akumuliranju Fe u poređenju sa korom *P. acerifolia*. Pirsonov korelacioni koeficijent je pokazao negativnu korelaciju između

sadržaja Fe u kori *P. nigra* i zemljišta u parku u Obrenovcu ($r=-0.981^{**}$) u junu, dok je pozitivna korelacija utvrđena u oktobru u kori *A. hippocastanum* ($r=0.915^*$) ukazujući da je on poreklom iz zemljišta. Rezultati dobijeni primenom CDA analize su pokazali da sadržaj Fe ima veliki uticaj na razlike na nivou kore sve tri vrste u svim parkovima, izuzev parka u Smederevu (Slika 11).

Normalan opseg Fe u biljkama se kreće u širokom opsegu, od 29-300 mg/kg, što u mnogome zavisi od prirode matičnog supstrata (Kabata-Pendias and Pendias 2001). Sadržaj Fe u četinama *P. nigra* se kretao u granicama normalnih vrednosti (29-305 mg/kg) i pokazao je pravilnu prostornu distribuciju, pa su tako najviše vrednosti izmerene u parku u Smederevu, a najniže u parku u Obrenovcu (Tabela 28). Sa druge strane, sadržaj Fe u listovima *A. hippocastanum* je višestruko premašivao prosečne vrednosti (98-1001 mg/kg), a na nivou lokaliteta po najvišem sadržaju Fe su se, slično kao i za koru, izdvojili parkovi u Beogradu i Smederevu. I kod listopadnih vrsta, najniži sadržaj Fe je izmeren u parku u Obrenovcu, uprkos njegovom visokom sadržaju u zemljištu, što se može dovesti u vezu sa osobinama zemljišta koje karakteriše veći procenat gline (Slika 5). Na nivou vrste, *A. hippocastanum* je pokazao najveću sposobnost akumulacije Fe u listovima, zatim *P. acerifolia* i *P. nigra* u dvogodišnjim četinama, i na kraju *P. nigra* u jednogodišnjim četinama. Prosečan sadržaj Fe u listovima drvenastih vrsta u našem istraživanju je bio sličan ili neznatno niži u poređenju sa istraživanjima sprovedenim na drugim vrstama: 82-98 mg/kg u jednogodišnjim, 107-132 mg/kg Fe u dvogodišnjim četinama *P. sylvestris* (Parzych and Jonczak 2013); 114-298 mg/kg u četinama većeg broja vrsta roda *Pinus* (Parzych et al. 2017); 233 mg/kg u četinama *P. pinea* (Rossini Oliva and Mingorance 2006); u četinama *P. nigra* 163-315 mg/kg i listovima *P. acerifolia* 208-285 mg/kg (Sawidis et al. 2011). Ranija istraživanja su pokazala opseg variranja Fe u listovima *A. hippocastanum* od 90-700 mg/kg (Aničić et al. 2011), odnosno 302-530 mg/kg u listovima iste vrste (Tomašević et al. 2011) u urbanim parkovima Beograda. Pirsonov korelacioni koeficijent je ukazao na postojanje statistički značajnih pozitivnih i negativnih korelacija između sadržaja ovog elementa u četinama i listovima biljaka u odnosu na iste u zemljištu, ukazujući na dvojako poreklo Fe, iz zemljišta ali i iz vazduha. Rezultati dobijeni primenom CDA analize su pokazali da sadržaj Fe ima veliki uticaj na razlike na nivou četina i listova kod sve tri vrste u svim parkovima, ali posebno

u parkovima u Pančevu na DC1 (80.09 %), Obrenovcu na DC1 (87.24 %) i Beogradu na DC1 (60.82 %) (Slika 13).

Litijum je litofilni metal koji se najčešće javlja u silikatnim mineralima i mineralima gline. Veoma je mobilan u geohemijskim procesima i lako je rastvorljiv u kiselim i oksidativnim uslovima. Njegova koncentracija u zemljištu značajno varira, od 1.3 mg/kg u zemljištima bogatim organskom materijom do 56 mg/kg u karbonatnim zemljištima (Kabata-Pendias and Pendias 2001). Uredbom Republike Srbije za Li nije propisana MDK u zemljištu (SGRS 1994). Litijum se intenzivno koristi u industriji proizvodnje aluminijuma, stakla i emajla. Smatra se da bi u budućnosti mogao da se koristi u tehnologiji proizvodnje tzv. čiste energije (Qin et al. 2015). Sadržaj Li u ispitivanim zemljištima u parkovima u Pančevu, Smederevu, Obrenovcu i Beogradu je bio znatno viši od prosečnih vrednosti za svetska zemljišta (54.77-134.10 mg/kg, Tabela 53). Najviše koncentracije Li u su izmerene u parku u Obrenovcu (94.64-134.10 mg/kg), što se može objasniti uticajem dominantnog izvora zagađenja na ovom lokalitetu. Ugalj je jedan od glavnih izvora Li i prilikom sagorevanja se najčešće vezuje za neorganske frakcije i otpušta u životnu sredinu iz letećeg pepela (Qin et al. 2015). Rezultati PCA analize na ukupnom sadržaju elemenata u ispitivanim zemljištima, ukazuju na činjenicu da je Li pretežno geogenog porekla (Tabela 5, Slika 7). Izuzetak je vidljiv na kontrolnom staništu, gde je prisutan drugi faktor koji je pozitivno korelisan sa Li, a snažno negativno korelisan sa B, Cu i Mn. U prilog tome govore i rezultati sekvencijalne analize koji su potvrdili da je Li čvrsto vezan za kristalnu rešetku minerala, pošto je njegov udeo u rezidualnoj frakciji iznosio 78-91 %, i nedostupan je biljkama. Njegova procentualna zastupljenost u reducibilnoj (do 11.9 %) i oksidabilnoj fazi (do 10.4 %) je bila neznatna. Sadržaj Li u kiselo-rastvornoj/izmenjivoj frakciji je najčešće bio ispod granica detekcije aparata, što zajedno sa postojećim alkalnim uslovima koji vladaju u ispitivanim zemljištima čini ovaj element nedostupnim biljkama. Najveći udeo Li u kiselo-rastvornoj/izmenjivoj frakciji je izmeren u zemljištu ispod *A. hippocastanum* u parku u Beogradu, i iznosi 3.5 % (Slika 9).

Uloga Li u metabolizmu biljaka još uvek nije dovoljno istražena, pa je nejasno da li je Li esencijalan element za biljke, uprkos pojedinačnim istraživanjima koja su pokazala njegov značaj u različitim organizmima (Shahzad et al. 2016). Usled malog broja literaturnih podataka, dostupne informacije o njegovom transportu iz zemljišta u

biljku, kao i efekti toksičnosti Li na biljke nisu poznati. S obzirom na veliku rasprostranjenost Li u zemljištu, očekivano je da ga biljke relativno lako usvajaju, pošto najčešće deli iste puteve usvajanja kroz ćelijsku membranu kao i K (Shahzad et al. 2016). Međutim, usled postojećih varijacija između biljnih vrsta, kao i uslova koji vladaju u ispitivanim urbanim zemljištima u ovom istraživanju (visok pH, peskoviti sastav, mali procenat organskog ugljenika), Li nije pronađen ni u jednom uzorku kore ili lista. Postojeća literatura upravo ukazuje na činjenicu da je priroda Li nepoznata i dok neke biljke mogu biti bioakumulatori ili hiperakumulatori, druge ga uopšte ne akumuliraju.

Mangan je čest element koji se u prirodi ne javlja samostalno, već kao sastavni deo minerala. Ima slične hemijske karakteristike kao i Fe i njihove zajedničke rude se često javljaju u prirodi. Divalentni jon Mn je jedina stabilna forma u zemljišnom rastvoru, a njegova mobilnost zavisi od uslova koji vladaju u zemljištu poput pH, vlage, sadržaja organske materije, biološke aktivnosti i dr. (Kabata-Pendias and Pendias 2001, Nadaska et al. 2012). Niska pH reakcija zemljišta ($\text{pH} < 5$) povoljno utiče na njegovu rastvorljivost, dok se na visokim pH (> 8) njegova dostupnost i rastvorljivost značajno smanjuje. Prosečan sadržaj Mn u svetskim zemljištima iznosi oko 450 mg/kg (Kabata-Pendias and Pendias 2001), a Uredbom RS za ovaj element nije propisana MDK (SGRS 1994). Njegovo poreklo u zemljištu je najčešće dvojako, odnosno uz prirodan sadržaj Mn, značajan je i antropogeni uticaj. Glavni izvori antropogenog Mn su komunalne otpadne vode, rudarstvo i prerada mineralnih sirovina, zatim emisije poreklom iz proizvodnje legura gvožđa, čelika, kao i sagorevanje fosilnih goriva, industrija stakla, hemikalija i baterija (Hronec et al. 2010; Nadaska et al. 2012). Koncentracija Mn u ispitivanim urbanim zemljištima je bila viša od prosečnih vrednosti za peskovita svetska zemljišta (365-773 mg/kg, Tabela 53). Na nivou lokaliteta, po najvišim koncentracijama Mn u zemljištu ispod *P. nigra* (691 mg/kg) i *A. hippocastanum* (773 mg/kg) se izdvojio park u Obrenovcu, a u zemljištu ispod *P. acerifolia* (680 mg/kg) park u Beogradu. Prosečan sadržaj Mn u našem istraživanju u urbanim zemljištima je bio viši u odnosu na vrednosti izmerene u urbanom zemljištu Glazgova, Ljubljane i Sevilje (442 mg/kg, 487 mg/kg, 369 mg/kg, Davidson et al. 2006) i grada Novokuybyshevsk u Rusiji (125-270 mg/kg, Galitskova and Murzayeva 2016). Sa druge strane, u odnosu na rezultate istraživanja Mn na teritoriji Srbije, naši rezultati su slični rezultatima Kuzmanoski et al.

(2014) dobijenim u urbanim beogradskim parkovima 618-771 mg/kg, zatim Marjanović et al. (2009) na širem području Beograda od 417 mg/kg i Gržetić and Ghariani (2008) u centralnoj zoni Beograda od 617.74 mg/kg. U odnosu na zemljište u Beogradu, prosečna koncentracija Mn u zemljištu šireg područja Novog Sada je bila značajno niža 368.6 mg/kg (Mihailović et al. 2015). Dragović et al. (2008) su na planini Zlatibor utvrdili izuzetno visoku prosečnu koncentraciju Mn od 953 mg/kg, čije je poreklo geogeno. Nasuprot tome, Andrejić et al. (2016) su u užoj zoni Beograda utvrdili visoke koncentracije Mn čiji je opseg variranja bio od 808-1068.5 mg/kg, a čije je poreklo antropogeno. Naši rezultati PCA analize na ukupnom sadržaju elemenata u ispitivanim urbanim zemljištima ukazuju na dvojako poreklo Mn (Tabela 5, Slika 7). Na svim lokalitetima postoji snažan uticaj antropogenog faktora, a najizraženiji je u parku u Beogradu gde Mn zajedno sa Cr gradi zaseban klaster, kao i na kontrolnom staništu gde se grupiše sa B i Cu. Ovakvi rezultati se mogu dovesti u vezu sa intenzivnim saobraćajem pošto se u Srbiji bezolovni benzin proizvodi sa MMT aditivom (metilciklopentadienil mangan trikarbonilom) (Gržetić and Ghariani 2008). Rezultati sekvencijalne analize su pokazali da je geološkog porekla, u rezidualnoj fazi ekstrahovano samo 15-26 % Mn. Najveći udeo u frakcionom profilu je ekstrahovan u reducibilnoj (35-69 %), odnosno kiselo/rastvornoj (11-36 %) fazi, što ukazuje na činjenicu da je Mn potencijalno dostupan biljkama, veoma mobilan i da je antropogenog porekla, što je posebno vidljivo na ispitivanim lokalitetima u Smederevu i Beogradu (Slika 9). Najmanji udeo u frakcionom profilu Mn je vezan za organsku materiju i sulfide (do 10.3 %).

Mangan je esencijalan element koji je neophodan u sintezi enzima i aktivnih molekula, ekspresiji gena, biosintezi proteina, nukleinskih kiselina, u metabolizmu ugljenih hidrata, i u procesu fotosinteze (Adriano 2001). Sadržaj Mn u kori ispitivanih vrsta je pokazao pravilnu prostornu distribuciju, pa su najviše vrednosti u kori *P. nigra* izmerene u parku u Smederevu (20-40 mg/kg), u kori *A. hippocastanum* u parku u Beogradu (79-156 mg/kg), a u kori *P. acerifolia* u parkovima u Pančevu i Beogradu (23-33 mg/kg). Sa druge strane, najniži sadržaj Mn u kori sve tri vrste je izmeren na kontrolnom staništu (Tabela 14). Na nivou vrste, kora *A. hippocastanum* je najbolje akumulirala Mn, dok su *P. nigra* i *P. acerifolia* imale sličan sadržaj. U odnosu na listove, kora je sadržala slične ili niže koncentracije Mn. Prosečan sadržaj Mn u kori *P.*

nigra je bio sličan ili neznatno viši od iste u kori *P. sylvestris* (4.7-6.5 mg/kg, Kosiorek et al. 2017), zatim u kori *P. pinea* (27.6 mg/kg, Rossini Oliva and Mingorance 2006), kao i u kori šest vrsta roda *Pinus* (13-67 mg/kg, Parzych et al. 2017). Nasuprot tome, sadržaj Mn u kori *P. sylvestris* u istraživanju Galuszka (2005) je bio višestruko veći (254-470 mg/kg). Pirsonova korelaciona matrica je pokazala značajnu pozitivnu korelaciju Mn u odnosu na zemljište u avgustu u kori *P. nigra* ($r=0.926^*$) iz paraka u Smederevu, i u kori *A. hippocastanum* u oktobru u parku u Beogradu ($r=0.896^*$), što ukazuje da je akumuliran iz zemljišta. Nasuprot tome, statistički značajna negativna korelacija je utvrđena u kori *P. acerifolia* u avgustu na kontrolnom staništu ($r=-0.925^*$). Biokoncentracioni faktor je u kori *A. hippocastanum* sa kontrolnog staništa bio veći od 1 (BCF=1.466), što pokazuje da se u uslovima visokog sadržaja ukupnog Mn, veliki njegov deo transportuje u koru. Rezultati dobijeni primenom CDA analize na ukupnim hemijskim elementima u kori su pokazali da sadržaj Mn ima veliki uticaj na razlike između vrsta na svim lokalitetima (Slika 11).

Optimalna koncentracija Mn neophodna za normalno fiziološko funkcionisanje biljaka se kreće u opsegu od 30-300 mg/kg (Kabata-Pendias and Pendias 2001). Rezultati našeg istraživanja su pokazali da i jednogodišnje (9-26 mg/kg) i dvogodišnje (11-29 mg/kg) četine *P. nigra* imaju deficit Mn, izuzev dvogodišnjih četina u parku u Beogradu. Deficit Mn je izmeren i u listovima *A. hippocastanum* iz parak u Obrenovcu (15-27 mg/kg), i na kontrolnom staništu (22-27 mg/kg), kao i u listovima *P. acerifolia* u junu na svim lokalitetima, izuzev u parku u Pančevu (Tabela 30). Nedostatak Mn u četinama i listovima, uprkos njenoj dovoljnoj koncentraciji u zemljištu je najverovatnije rezultat alkalne reakcije, niskog sadržaja organske materije i peskovitog sastava zemljišta (Kabata-Pendias and Pendias 2001). Biljke koje se razvijaju na karbonatnim zemljištima sa visokim pH (>8) i poroznim peskovitim zemljištima su podložnije nedostatku Mn pošto takvi uslovi favorizuju oksidaciju Mn do nedostupnih Mn oksida (Husted et al. 2005; Schmidt et al. 2016). Deficit Mn u jednogodišnjim četinama *P. nigra* je verovatno rezultat slabe pokretljivosti Mn u floemu koja sprečava njegovu remobilizaciju iz starijih u mlade listove (Loneragan 1988; Schmidt et al. 2016), zbog čega se nedostatak Mn prvo odražava na potpuno razvijenim mladim listovima. Sadržaj Mn u jednogodišnjim i dvogodišnjim četinama *P. nigra* je bio konstantan na svim lokalitetima tokom vegetacijske sezone, pri čemu su neznatno veću

sposobnost akumulacije imale dvogodišnje četine. Njegova akumulacija kod listopadnih vrsta je bila uslovljena lokalitetom, pri čemu su značajno više koncentracije izmerene u listovima *A. hippocastanum* iz parka u Beogradu (44-98 mg/kg) i u listovima *P. acerifolia* iz parkovima u Pančevu (42-76 mg/kg) i Obrenovcu (19-75 mg/kg) zbog čega se ne može sa sigurnošću utvrditi koja vrsta efikasnije akumulira ovaj element. Pirsonova korelaciona matrica je pokazala pozitivne i negativne korelacije u sadržaju ovog elementa u četinama/listovima ispitivanih vrsta u odnosu na zemljište, što potvrđuje da je poreklo Mn u listovima dvojako, odnosno akumulirano iz zemljišta, ali i deponovano iz vazduha. Rezultati dobijeni primenom CDA analize hemijskih elemenata u četinama i listovima su pokazali da sadržaj Mn ima veliki uticaj na razdvajanje vrsta na svim lokalitetima, osim u parku u Obrenovcu (Slika 13).

Nikl je čest element u Zemljinoj kori i ima sličnu distribuciju kao i Fe. Zajedno sa oksidima gvožđa i mangana ulazi u sastav magmatskih stena i serpentinita, ali je za razliku od njih stabilan u vodenom rastvoru zbog čega se lako transportuje (Adriano 2001; Kabata-Pendias and Pendias 2001). Organska materija u zemljištu ima snažan afinitet da apsorbuje Ni, zbog čega je velika verovatnoća da će se naći koncentrisan u uglju i nafti (Kabata-Pendias and Pendias 2001). Jedan je od najozbiljnijih zagađivača životne sredine, a oslobađa se u procesima proizvodnje metala, metalnih prevlaka, proizvodnje legura, Ni-Cd baterija i elektronskih komponenti, ali i u procesima sagorevanja uglja i nafte (Adriano 2001; Kabata-Pendias and Pendias 2001). U neutralnoj i blago alkalnoj sredini se taloži u formi hidroksida $\text{Ni}(\text{OH})_2$ koji je stabilan, ali u kiseloj sredini i izuzetno alkalnim uslovima formira HNiO_2 koji je rastvorljiv u vodi. Prosečna koncentracija Ni u svetskim zemljištima varira u širokom opsegu od 0.2-450 mg/kg, a Uredbom RS njegove MDK u zemljištu iznose 50 mg/kg (SGRS 1994). Sadržaj Ni u zemljištu u našem istraživanju je varirao u širokom opsegu ispod sve tri ispitivane vrste (21-128 mg/kg, Tabela 53), pri čemu se park „Pionir“ u Beogradu izdvojio kao jedini lokalitet gde nisu prekoračene MDK vrednosti i gde je izmeren najniži sadržaj Ni. Sa druge strane, dva lokaliteta koja su se izdvojila po značajno višim koncentracijama Ni u zemljištu i gde su značajno prekoračene MDK su parkovi u Smederevu (103-128 mg/kg) i Obrenovcu (63-101 mg/kg). Generalno, zemljišta Srbije karakteriše visok sadržaj Ni koji je geološkog, odnosno prirodnog porekla (Kuzmanoski et al. 2014) i njegova distribucija u zemljišnom profilu je slična distribuciji Cr, što je

potvrđeno i u našem istraživanju jer su se isti lokaliteti izdvojili po najvišim koncentracijama Ni i Cr. Međutim, dobijeni rezultati sadržaja Ni u zemljištu urbanih parkova u Smederevu i Obrenovcu su verovatno rezultat rada železare u Smederevu, kao i procesa sagorevanja uglja u termoelektrani „Nikola Tesla A“ (Pavlović et al. 2018). Prosečne koncentracije Ni u urbanim zemljištima (Tabela 53) su bile značajno više u odnosu na vrednosti izmerene u zemljištu u Madrida (14.1 mg/kg, De Miguel et al. 1998), Palermu (19 mg/kg, Manta et al. 2002), Sevilji (22 mg/kg, Madrid et al. 2002), Glazgovu i Ljubljani (48 mg/kg, 57 mg/kg, Davidson et al. 2006), ali i značajno niže od prosečnog sadržaja Ni izmerenog u Torinu (209 mg/kg, Biasoli et al. 2006). Rezultati korelacione i PCA analize na ukupnom sadržaju elemenata u ispitivanim urbanim zemljištima ukazuju na dvojako poreklo Ni (Tabela 5, Slika 7), geogeno ali uz snažan uticaj antropogenog faktora, što je pre svega konstatovano u parkovima u Pančevu i na kontrolnom staništu. U parku „Pionir“ u Beogradu, poreklo Ni je geogeno, a u parkovima u Smederevu i Obrenovcu, Ni gradi zaseban klaster sa elementima Cr, Pb i B, koji su, kako je analiza pokazala, antropogenog porekla. Rezultati sekvencijalne analize su pokazali da je u parkovima u Beogradu i na kontrolnom staništu Ni čvrsto vezan za kristalnu rešetku minerala (60 %) i da je nedostupan biljkama. U parkovima u Pančevu (22-51 %) i Smederevu (48-54 %), najveća koncentracija Ni je vezana za reducibilnu frakciju, što ukazuje da je Ni potencijalno dostupan biljkama, veoma mobilan i da je verovatno antropogenog porekla. U parku u Obrenovcu frakcioni profil Ni je pokazao da je zbir kiselo-rastvorne/izmenjive, oksidabilne i reducibilne frakcije jednak udelu rezidualne, što ukazuje na veliku mobilnost i potencijalnu dostupnost Ni, i gotovo jednak uticaj i antropogenog i prirodnog faktora (Slika 9).

Literaturni podaci o značaju Ni za biljke su dosta kontradiktorni. Prema Adriano (2001) Ni je neophodan jer ulazi u sastav enzima, dok prema Kabata-Pendias and Pendias (2001) njegova funkcija i uloga još uvek nisu potvrđene. U našim ispitivanjima, Ni je detektovan u kori *P. nigra* (2.00-4.71 mg/kg) i *A. hippocastanum* (2.38-9.21 mg/kg) u junu na svim lokalitetima, ali je kasnije u vegetacijskoj sezoni izmeren samo u kori *A. hippocastanum* iz parkova u Smederevu (2.07-3.78 mg/kg) i Beogradu (11.13-13.28 mg/kg). U kori *P. acerifolia* sadržaj Ni je bio ispod nivoa detekcije aparata tokom cele sezone vegetacije. U kori *A. hippocastanum* iz parka u Smederevu, sadržaj Ni je imao opadajuću, dok je u Beogradu imao rastuću distribuciju sa značajno višim

koncentracijama u poređenju sa drugim lokalitetima. Prosečan sadržaj Ni, u našem istraživanju, u kori *P. nigra* je bio viši u odnosu na isti u kori *P. sylvestris* (0.073 mg/kg, Kosiorek et al. 2017), sličan istom u *P. nigra* (1-23 mg/kg, Galuszka 2005) i niži u odnosu na iste u kori različitih vrsta roda *Pinus* (41.4-90.6 mg/kg, Parzych et al. 2017). Usvajanje Ni od strane biljaka zavisi i od ekofizioloških karakteristika biljaka ali i od fizičko-hemijskih karakteristika zemljišta. Normalnim opsegom za biljke se smatraju koncentracije koje se kreću u rasponu od 0.1-5 mg/kg, toksičnim od 10-100 mg/kg, dok osetljivije vrste mogu pokazati znake toksičnosti već na 30 mg/kg (Kabata-Pendias and Pendias 2001). U našim istraživanjima, Ni je detektovan samo u junu u četinama *P. nigra* (1.42-2.52 mg/kg) i listovima *A. hippocastanum* (1.04-2.74 mg/kg) na svim lokalitetima, dok je u listovima *P. acerifolia* detektovan samo u parkovima u Pančevu (2.13 mg/kg), Beogradu (2.90 mg/kg) i na kontrolnom staništu (1.73 mg/kg). U avgustu i oktobru, sadržaj Ni u četinama i listovima ispitivanih vrsta je bio ispod nivoa detekcije aparata, a njegova slaba akumulacija je najverovatnije uslovljena alkalnošću zemljišta, uprkos njegovim visokim koncentracijama u zemljištu (Tabele 2, 53). Očekivan normalni sadržaj Ni u biljnim tkivima je do 3.7 mg/kg, a iz dobijenih rezultata je uočljivo da je sadržaj Ni u četinama i listovima bio u opsegu normalnih vrednosti za biljke (Tabela 53).

Olovo je element koji je slabo zastupljen u Zemljinoj kori, a najčešće je prisutno u magmatskim stenama. Ulazi u sastav preko 200 minerala i ima sposobnost da zameni K, Ba, Sr, Ca i Na u mineralima i na taj način gradi kristalnu rešetku. Prirodni sadržaj Pb u zemljištu je rezultat dekompozicije matične stene. Međutim usled sveprisutnog antropogenog zagađenja olovom, većina površinskih zemljišta je obogaćena ovim toksičnim metalom (Adriano 2001; Kabata-Pendias and Pendias 2001). Smatra se da je Pb najmanje mobilan element u poređenju sa drugim teškim metalima, a njegova prisutnost u niskim koncentracijama u prirodnom zemljišnom rastvoru podržava ovu tezu (Kabata-Pendias and Pendias 2001). Na visokom pH (pH>8) se taloži u formi olovo hidroksida, fosfata ili karbonata, ili formira stabilne organske komplekse. Prosečna srednja vrednost Pb u svetskim zemljištima je oko 32 mg/kg, a njegov opseg variranja za različite tipove zemljišta iznosi od 10-67 mg/kg (Kabata-Pendias and Pendias 2001). Maksimalno dozvoljena koncentracija Pb u zemljištu koja je propisana Uredbom RS iznosi 100 mg/kg (SGRS 1994). Dobijeni rezultati sadržaja Pb u zemljištu

ispitivanih urbanih parkova su bili viši od prosečnih za svetska zemljišta (53-289 mg/kg, Tabela 53), a u parkovima u Smederevu u zemljištu ispod *P. nigra* (113.63 mg/kg) i posebno u Beogradu u zemljištu ispod *A. hippocastanum* (289.04 mg/kg) su premašivali MDK (>100 mg/kg, SGRS 1994). Ovako visok sadržaj Pb u zemljištu ispod *A. hippocastanum* u Beogradu se može direktno dovesti u vezu sa reziduom olovnog benzina koji je zabranjen u Republici Srbiji tek 2010. godine (Gržetić and Ghariani 2008). Prosečan sadržaj Pb u ispitivanim urbanim zemljištima je bio niži u odnosu na isti izmeren u urbanim zemljištima Madrida (161 mg/kg, De Miguel et al. 1998), Napulja (262 mg/kg, Imperato et al. 2003), Palerma (253 mg/kg, Manta et al. 2002), Sevilje (137 mg/kg, Madrid et al. 2002), Glazgova (389 mg/kg) i Ljubljane (439 mg/kg, Davidson et al. 2006), kao i Torina (149 mg/kg, Biasoli et al. 2006). Istraživanja sprovedena na teritoriji Beograda pre uvođenja zabrane korišćena olovnog benzina 2010. godine pokazuju njegove relativno visoke koncentracije: Gržetić and Ghariani (2008) su u zemljištu urbanih parkova izmerili prosečne vrednosti Pb od 230.83 mg/kg, Marjanović et al. (2009) od 298.6 mg/kg, dok su Crnković et al. (2006) na uzorku od 46 urbanih zemljišnih profila u Beogradu dobili prosečnu vrednost Pb od samo 55.5 mg/kg. Sa druge strane, istraživanje Dragović et al. (2008) u zemljištima na planini Zlatibor je pokazalo da je sadržaj Pb u granicama prosečnih vrednosti za svetska zemljišta. Nakon uvođenja zabrane 2010. godine prosečan sadržaj Pb u urbanom zemljištu uže gradske zone Beograda je bio u opsegu od 80.36-137.36 mg/kg (Andrejić et al. 2016), dok su na širem gradskom području Novog Sada Mihailović et al. (2015) izmerili značajno niže prosečne vrednosti Pb od 82.3 mg/kg. Iz rezultata naših istraživanja, evidentno je smanjenje koncentracija Pb u zemljištu nakon uvođenja zabrane korišćena olovnog benzina. Rezultati dobijeni primenom korelacione i PCA analize su potvrdili da je sadržaj Pb u površinskom sloju zemljišta pretežno antropogenog porekla. U Smederevu Pb gradi zaseban klaster sa Mn i Ni i pod snažnim je uticajem antropogenog faktora; u Obrenovcu se odvajaju zajedno sa Cr, B i Ni, a u Beogradu zajedno sa Cu i Zn što je verovatno rezultat uticaja saobraćaja (Tabela 5, Slika 7). Rezultati sekvencijalne analize su pokazali da je samo mali udeo u frakcionom profilu Pb prirodnog porekla (5.8-41.2 %). Najviše Pb je ekstrahovano u reducibilnoj fazi 30 % do čak 81 % u parku u Beogradu u zemljištu ispod *A. hippocastanum* što ukazuje da je veoma mobilan i potencijalno dostupan biljkama. Karakteristična lokalizacija Pb u površinskom sloju

zemljišta se povezuje sa površinskom akumulacijom organske materije (Kabata-Pendias and Pendias 2001), koja je upravo u parku u Beogradu bila najviša usled delovanja antropogenog faktora. Udeo u oksidabilnoj (do 18.2 %) i kiselo-rastvorno/izmenjivoj frakciji (do 19.8 %) je bio sličan (Slika 10). Ovakav frakcioni profil Pb ukazuje na njegovu veliku mobilnost i dostupnost, ali i snažan uticaj antropogenog faktora.

Olovo je slabo dostupan hemijski element biljkama i uprkos činjenici da se prirodno može naći u biljkama, ne smatra se esencijalnim elementom (Kabata-Pendias and Pendias 2001). Usvajanje Pb može biti folijarno ili iz zemljišnog rastvora (Adriano 2001). Olovo je češće detektovano u kori u odnosu na četine i listove ispitivanih vrsta, ali je jedino u kori *A. hippocastanum* izmereno tokom cele sezone (5.39-37.52 mg/kg) i pokazalo je rastuću sezonsku distribuciju, uz izdvajanje parka u Beogradu gde su izmerene najviše koncentracije (Tabela 20). U kori *P. nigra*, Pb je izmereno u junu (2.29-12.00 mg/kg) i oktobru (2.21-15.55 mg/kg) na svim lokalitetima, a ispod detekcionog limita aparata je bilo u avgustu u parku u Obrenovcu i na kontrolnom staništu. Sadržaj Pb je i u kori *P. nigra* imao rastuću sezonsku distribuciju, a na nivou lokaliteta najviše koncentracije su izmerene u parku u Smederevu. Najniže koncentracije Pb su izmerene u kori *P. acerifolia*, gde je jedino u junu detektovana prisutnost Pb na svim lokalitetima (1.85-5.65 mg/kg), u avgustu samo u Beogradu, dok je u oktobru sadržaj Pb bio ispod detekcionog limita u parkovima u Pančevu i Obrenovcu. U odnosu na prosečne vrednosti dobijene našim istraživanjima, veći sadržaj ovog elementa je izmeren u kori *P. acerifolia* (4.19-15.15 mg/kg, Sawidis et al. 2011), zatim u kori *P. nigra* (5.98-15.56 mg/kg, Galuszka 2005), u kori *P. sylvestris* i *P. pinea* (10-28 mg/kg, 5.30 mg/kg, Rossini Oliva and Mingorance 2006) sa drugih urbanih staništa.

Smatra se da se Pb zbog slabe mobilnosti prvenstveno akumulira u korenu, i da je translokacija u druga biljna tkiva veoma slaba (Adriano 2001), što je od velikog značaja za biljke, ali i životnu sredinu. U ovim ispitivanjima, prisustvo Pb je detektovano samo u junu i to u četinama *P. nigra* (0.78-1.78 mg/kg), a dobijene vrednosti su bile u granicama normalnih vrednosti za biljke (u opsegu od 0.1-10 mg/kg, prosečan sadržaj od 2 mg/kg, Kabata-Pendias and Pendias 2001). Na ostalim lokalitetima, u toku sezone u listovima lišćarskih vrsta je bilo ispod granice detekcije

aparata. Alkalni uslovi u ispitivanim urbanim zemljištima su verovatni doprineli imobilizaciji Pb i slabom transferu u biljka tkiva.

Stroncijum je relativno čest element u Zemljinoj kori i najčešće se nalazi u sastavu magmatskih stena i karbonatnim sedimentima (Kabata-Pendias and Pendias 2001). Ima slične geohemijske i biohemijske karakteristike kao Ca, pa se u prirodi najčešće i javljaju zajedno. Postoji u nekoliko izotopnih formi, od čega je najstabilnija ^{88}Sr , a najopasnija radioaktivna ^{90}Sr . Ovaj radioaktivni izotop nastaje u nuklearnim procesima i smatra se jednim od biološki najopasnijih elemenata (Stamoulis et al. 1999). Prirodni sadržaj u zemljištu gotovo isključivo zavisi od klimatskih uslova i sastava matične stene, a prosečne vrednosti se kreću u opsegu od 87-210 mg/kg (Kabata-Pendias and Pendias 2001). Uredbom RS za ovaj element nije propisana MDK (SGRS 1994). Sadržaj Sr u ispitivanim zemljištima se kretao u opsegu normalnih vrednosti za svetska zemljišta (27-81 mg/kg, Tabela 53), sa najnižim koncentracijama izmerenim u zemljištu ispod sve tri vrste u parku u Pančevu (27-30 mg/kg), a najvišim u parku u Beogradu, u zemljištu ispod *P. nigra* (76 mg/kg) i *A. hippocastanum* (81 mg/kg). Stroncijum je element kome nije posvećeno puno literaturnih podataka, a istraživanja Pavlović et al. (2017a) u urbanom zemljištu parkova u Srbiji ispod vrste *B. pendula* ukazuju da se koncentracija ovog elementa kreće u granicama normalnih vrednosti za svetska zemljišta. Rezultati dobijeni primenom PCA analize su pokazali da je Sr u istraživanim urbanim zemljištima isključivo antropogenog porekla na svim lokalitetima (Tabela 5, Slika 7). Slično je potvrdila i sekvencijalna analiza uzoraka zemljišta koja se apsolutno razlikovala u odnosu na sve ostale elemente pošto je najveći udeo ekstrahovan u kiselo-rastvornoj/izmenjivoj frakciji (35-83 %) što pokazuje da je on antropogenog porekla, veoma mobilan i dostupan, i da se lako može usvojiti od strane biljaka (Slika 10). Druga najzastupljenija faza je bila reducibilna (9.3-39.6 %), a prirodnog porekla, odnosno udeo Sr koji je vezan za kristalnu strukturu minerala je zastupljen u opsegu od 6.4-33.5 %. Ovakvi rezultati sekvencijalne analize idu u prilog prethodnim analizama i potvrđuju da je Sr u površinskom sloju zemljišta rezultat antropogenog zagađenja.

Usvajanje Sr od strane biljaka je specifično za vrstu i pod kontrolom je fizičko-hemijskih karakteristika zemljišta poput organske materije, pH, jonskog sastava i dr. (Moyen and Roblin 2010). Uprkos činjenici da nije esencijalni element, a s obzirom da

deli hemijske i fizičke karakteristike sa Ca koji je esencijalan, lako se usvaja od strane biljaka (Chen et al. 2012). Sadržaj Sr u kori ispitivanih vrsta se kretao u širokom opsegu u zavisnosti od vrste (*P. nigra* 7.20-33.33 mg/kg, *A. hippocastanum* 41.53-245.41 mg/kg, *P. acerifolia* 35.6-346 mg/kg), ali i od lokaliteta. Najviše koncentracije u kori ispitivanih vrsta su izmerene u parku u Beogradu. Sadržaj Sr u kori *A. hippocastanum* je bio relativno ujednačen na svim lokalitetima, izuzev u Beogradu, gde su izmerene nekoliko puta više koncentracije. Uprkos opadajućoj sezonskoj distribuciji, koncentracija Sr u kori *A. hippocastanum* je i u oktobru bila izuzetno visoka i iznosila je 129 mg/kg. Na nivou lokaliteta, u kori *P. acerifolia* su se izdvojili parkovi u Beogradu (251-346 mg/kg) i Smederevu (100-134 mg/kg). Na nivou vrste, naša istraživanja su pokazala najmanji sadržaj ovog elemenata u kori *P. nigra*, međutim u kori preostale dve vrste akumulacija Sr je bila uslovljena lokalitetom, zbog čega se ne može utvrditi koja bolje usvaja ovaj element. U poređenju sa četinama i listovima, u kori su izmerene nekoliko puta veće koncentracije Sr koje su evidentno poreklom iz vazduha, s obzirom da su koncentracije u zemljištu bile niže (Pavlović et al. 2017b). Akumulacija metala u kori pre svega zavisi od karakteristike same vrste i antropogenog uticaja što pokazuje i istraživanje na kori *B. pendula* (Pavlović et al. 2017a) gde je sadržaj Sr varirao u opsegu 5-21 mg/kg što je višestruko manje u poređenju sa korom *A. hippocastanum* i *P. acerifolia*. To su potvrdile i Pirsonove korelacije najčešće negativne u odnosu na zemljište, što potvrđuje pretpostavku da je Sr pre svega deponovan iz vazduha, izuzev u kori *P. nigra* u parku u Smederevu ($r=0.924^*$) i na kontrolnom staništu ($r=0.915^*$) u avgustu. Biokoncentracioni faktor u kori *A. hippocastanum* je bio veći od 1 na svim lokalitetima (najveći u parku u Beogradu od 2.463), kao i u kori *P. acerifolia* (najveći u Beogradu sa 9.334), svuda osim u parku u Obrenovcu. Rezultati dobijeni primenom CDA analize ukupnih hemijskih elemenata su pokazali da Sr ima veliki uticaj na razlike kod svih ispitivanih vrsta u parkovima u Smederevu, Obrenovcu i Beogradu (Slika 11).

Sadržaj Sr u biljkama je veoma varijabilan i postoje oprečna mišljenja oko tolerancije biljaka prema ovom elementu. Prema Shacklette et al. (1978) koncentracija Sr od 30 mg/kg u biljnom tkivu je toksična. Uprkos mišljenju da se Sr ne transportuje lako od korena ka listovima, najčešće upravo listovi sadrže visoke koncentracije ovog elementa (Kabata-Pendias and Pendias 2001). U našem istraživanju, jednogodišnje i dvogodišnje četine *P. nigra* su imale opadajuću sezonsku distribuciju (Tabela 32), za

razliku od listova *A. hippocastanum* gde su najviše koncentracije uglavnom izmerene u avgustu (35.12-79.47 mg/kg) i listova *P. acerifolia* sa rastućom sezonskom distribucijom (oktobar - 29.53-118.55 mg/kg). Na nivou lokaliteta najviše koncentracije u četinama i listovima svih vrsta su izmerene u parku u Beogradu, a listovi *A. hippocastanum* tokom cele sezone na svim lokalitetima, kao i listovi *P. acerifolia* svuda izuzev u parku u Smederevu su imali toksičan sadržaj Sr (>30 mg/kg). Na nivou vrste, *P. nigra* je imao najniži sadržaj Sr u četinama. Sa druge strane, u listovima *A. hippocastanum* i *P. acerifolia* akumulacija Sr je bila uslovljena lokalitetom, zbog čega se ne može utvrditi koja vrsta bolje usvaja ovaj element. Slično kao i u kori, koncentracija Sr u listovima *A. hippocastanum* i *P. acerifolia* su najčešće bile više od istog u zemljištu što ukazuje na njegovo poreklo iz vazduha. Visoke koncentracije koje su utvrđene i u kori i u listovima ispitivanih vrsta, posebno na lokalitetu u Beogradu se mogu dovesti u vezu sa NATO bombardovanjem Srbije 1999. godine kada su oslobođeni brojni radioaktivni izotopi, zajedno sa fisionim produktima koji su sadržali osiromašeni uranijum, rubidijum i stroncijum. Prethodna istraživanja su već potvrdila da dugotrajno izlaganje visokim koncentracijama Sr dovodi do njegove akumulacije u nadzemnim delovima biljaka (Tsukada et al. 2005). Tako su i Pirsonovi korelacioni koeficijenti pokazali da je Sr u četinama i listovima u najvećem broju slučajeva negativno korelisan sa istim u zemljištu što potvrđuje pretpostavke da je Sr u listovima akumuliran iz vazduha. Biokoncentracioni faktor je u listovima *A. hippocastanum* bio veći od 1 na svim lokalitetima, izuzev u Obrenovcu, kao i u listovima *P. acerifolia* iz Pančeva i Beograda. Rezultati dobijeni primenom CDA analize na ukupnim hemijskim elementima u četinama i listovima ispitivanih vrsta su pokazali da Sr ima veliki značaj na razdvajanje svih vrsta na svim lokalitetima (Slika 13).

Cink je rasprostranjen u magmatskim stenama i veoma je mobilan. Njegova lako rastvorna jedinjenja se talože u reakciji sa karbonatima ili se vezuju od strane minerala i organske materije. Zbog svojih višestrukih korisnih svojstava, koristi se u industriji, u zaštiti od korozije, čeličnih komponenti i drugih metala, za proizvodnju baterija, auto opreme, cevi, aparata u domaćinstvima itd. (Kabata-Pendias and Mukherjee 2007). U zemljištima se kreće u rasponu od 10-300 mg/kg, a prosečan sadržaj je oko 64 mg/kg (Adriano 2001; Kabata-Pendias and Mukherjee 2007). Maksimalno dozvoljene koncentracije propisane Uredbom RS iznose 300 mg/kg (SGRS 1994). U ispitivanim

zemljištima ispod sve tri vrste, koncentracija Zn je varirala u velikom opsegu od 54-188 mg/kg (Tabela 53), a dva lokaliteta koja su se izdvojila po najvišim koncentracijama Zn su Smederevo (151-185 mg/kg) i Beograd (72-188 mg/kg). Sadržaj Zn u ispitivanim urbanim zemljištima je bio ispod MDK (SGRS 1994). Prosečno viši sadržaj Zn je izmeren u urbanim zemljištima Pančeva, Smedereva, Obrenovca i Beograda u poređenju sa istim u gradu Slupska (45 mg/kg, Parzych and Jonczak 2014) i prosečno niži u odnosu na isti izmeren u urbanom zemljištu Madrida (210 mg/kg, De Miguel et al. 1998), Napulja (251 mg/kg, Imperato et al. 2003), Palerma (151 mg/kg, Manta et al. 2002), Sevilje (145 mg/kg, Madrid et al. 2002), Glazgova i Ljubljane (177 mg/kg, 180 mg/kg, Davidson et al. 2006), kao i Torina (183 mg/kg, Biasoli et al. 2006). Na teritoriji Srbije, u Beogradu slične rezultate prosečnog sadržaja Zn u zemljištu su dobili Crnković et al. (2006) od 118 mg/kg, Marjanović et al. (2009) od 174 mg/kg, Kuzmanoski et al. (2014) od 95-165 mg/kg, i Mihailović et al. (2015) od 100.3 mg/kg. Sa druge strane, koncentracija Zn u zemljištu na planini Zlatibor je iznosila 21.8 mg/kg (Dragović et al. 2008). Rezultati dobijeni PCA analizom ukazuju da Zn u ispitivanim zemljištima ima dvojako poreklo, geološko sa evidentnim uticajem antropogenog faktora (Tabela 5, Slika 7), što je posebno izraženo u parku u Pančevu i na kontrolnom staništu, gde Zn zajedno sa Al pod uticajem antropogenog faktora. U Smederevu, zajedno sa Sr, poreklo Zn se vezuje za antropogene izvore. U Beogradu, Zn potiče iz saobraćaja, što potvrđuje i njegova značajna korelisanost sa Cu i Pb. U prilog ovoj tvrdnji ide i istraživanje Ottesen et al. (1999) koje je pokazalo da su visoke koncentracije Zn u blizini prometnih saobraćajnica rezultata habanja automobilskih guma i betonskih površina koje sadrže cement, pošto se Zn i njegova jedinjenja koriste kao komponente za pravljenje cementa i betona (Adriano 2001). Frakcioni profil Zn je bio sličan frakcionom profilu Ni. U parkovima u Pančevu, Obrenovcu i na kontrolnom staništu najveći udeo Zn je ustanovljen u rezidualnoj fazi (51.1-64 %), odnosno vezan je za kristalnu rešetku minerala i nedostupan. U uzorcima zemljišta u parkovima u Smederevu (do 48.1 %) i Beogradu (do 52 %) najveća zastupljenost Zn je bila u reducibilnoj fazi, dok je ostatak je ravnomerno raspoređen između kiselo-rastvorne/izmenjive i rezidualne faze, što ukazuje da je Zn potencijalno dostupan biljkama, veoma mobilan i da je antropogenog porekla (Slika 10). Ovakav frakcioni profil Zn ukazuje da je na lokalitetima u Pančevu,

Obrenovcu i na kontrolnom staništu podjednak uticaj i prirodnog i antropogenog faktora, dok je u Beogradu i Smederevu dominantan antropogeni.

Cink je esencijalan element koji predstavlja gradivnu komponentu strukture enzima, učestvuje u metabolizmu ugljenih hidrata, proteina, utiče na permeabilnost membrana i na rezistenciju biljaka na patogene (Kabata-Pendias and Pendias 2001). Dostupnost Zn biljkama je pod kontrolom nekoliko parametara u zemljištu i zavisi pre svega od tipa zemljišta (Kabata-Pendias and Mukherjee 2007). Uprkos činjenici da je Zn mobilan u većini zemljišta, frakcija gline, fosfati, karbonati, oksidi, kao i snažna organska materija mogu da vežu Zn, što je izraženo u neutralnim i alkalnim uslovima (Kabata-Pendias and Pendias 2001). Slično kao i u zemljištu, dva lokaliteta koja su se izdvojila po najvišim koncentracijama Zn u kori *P. nigra* i *A. hippocastanum* su Smederevo (*P. nigra*- 35.24-40.94 mg/kg; *A. hippocastanum*- 44.50-55.18 mg/kg) i Beograd (*P. nigra*- 28.42-41.98 mg/kg; *A. hippocastanum*- 58.87-145.12 mg/kg), i u kori *P. acerifolia* u parku u Beogradu (34.74-50.79 mg/kg). Na nivou vrste, kora *P. acerifolia* je imala najniži sadržaj Zn. Sa druge strane kora *A. hippocastanum* i *P. nigra* su imale sličan sadržaj Zn u parkovima u Pančevu, Smederevu, Obrenovcu i na kontrolnom staništu. Pirsonovov korelacioni koeficijent je ukazao na postojanje statistički značajne korelacije između sadržaja ovog elementa u kori ispitivanih drvenastih vrsta i u zemljištu, u avgustu u Smederevu u kori *P. nigra* ($r=0.924^*$) i Beogradu u kori *P. acerifolia* ($r=0.967^*$), što ukazuje na direktno usvajanje iz zemljišta. Prosečan sadržaj Zn u kori *P. nigra* u našem istraživanju je bio niži u odnosu na koru različitih vrsta roda *Pinus* (42.7-118.7 mg/kg; Parzych et al. 2017), koru *P. sylvestris* (23-104 mg/kg, Galuszka 2005), a značajno viši u poređenju sa korom *P. sylvestris* (0.44-6.22 mg/kg, Kosiorek et al. 2016). Rezultati dobijeni primenom CDA analize na ukupnim hemijskim elementima u kori su pokazali da sadržaj Zn ima uticaj na razlike između ispitivanih vrsta samo u parku u Smederevu (Slika 11).

Normalan sadržaj Zn u biljkama se kreće u opsegu od 27-150 mg/kg, a deficit se javlja pri koncentracijama manjim od 20 mg/kg (Kabata-Pendias and Pendias 2001). Sadržaj Zn u četinama i listovima ispitivanih vrsta je uglavnom pokazao pravilnu sezonsku distribuciju, gde su najviše koncentracije izmerene u oktobru, uz pojedine izuzetke (Tabela 34). Iz dobijenih rezultata je evidentan deficit ovog esencijalnog elementa, posebno u junu u četinama *P. nigra* (9.46-21.18 mg/kg), zatim u listovima *A.*

hippocastanum (10.00-15.52 mg/kg, izuzev u Beogradu) i *P. acerifolia* (8.34-20.36 mg/kg), a kod listopadnih vrsta na svim lokalitetima tokom sva tri sezonska preseka, izuzev u parku u Beogradu. Rezultati sadržaja Zn u Beogradu su, kao i u slučaju zemljišta i kore, pre rezultat zagađivanja poreklom iz saobraćaja, nego akumulacije iz zemljišta (Van Bohemen and Van de Laak 2003). Na nivou vrste, sadržaj Zn je bio najviši u jednogodišnjim četinama *P. nigra*, dok je njegov sadržaj u dvogodišnjim četinama i listovima *A. hippocastanum* i *P. acerifolia* bio sličan, niži. Nedostatak Zn u biljkama je relativno česta pojava, jer se kao esencijalan element koristi za obavljanje osnovnih fizioloških procesa, što može da utiče na smanjenje njegovog sadržaja (Pavlović et al. 2017c). U alkalnim uslovima, translokacija Zn iz zemljišnog rastvora do korena, odnosno biljnih tkiva je otežana, što uzrokuje da on bude akumuliran u korenu (Kabata-Pendias and Pendias 2001). Prema Marschner (1993) u alkalnim zemljištima koncentracija Zn u rastvoru je izrazito niska zbog povećanog adsorpcionog kapaciteta čime se ograničava njegova mobilnost i transportni potencijal. Ovi razlozi su najverovatnije glavni uzrok nedostatka Zn u listovima *A. hippocastanum*, *P. acerifolia* i dvogodišnjim četinama *P. nigra*. U literaturi postoje neslaganja koja se tiču sezone distribucije Zn. Rezultati našeg istraživanja su pokazali da je sadržaj Zn u četinama i listovima svih vrsta bio najniži u junu, i neznatno se povećavao tokom sezone što je u saglasnosti sa rezultatima Tomašević et al. (2008) i Aničić et al. (2011). Nasuprot tome, Scheffer et al. (1978) su u svom istraživanju pokazali da je najviša koncentracija Zn u mladim listovima *Hordeum vulgare* koji se intenzivno razvijaju, kao i Kim and Fergusson (1994) i Baycu et al. (2006) koji su ustanovili smanjenje sadržaja Zn u listovima *A. hippocastanum* tokom vegetacijske sezone. Pirsonov korelacioni koeficijent je pokazao pozitivne korelacije između sadržaja ovog elementa u listovima i zemljištu kod *A. hippocastanum* na kontrolnom staništu u junu ($r=0.916^*$), listovima *P. acerifolia* u parkovima u Pančevu u avgustu ($r=0.879^*$) i Smederevu u oktobru ($r=0.927^*$), odnosno da Zn je poreklom iz zemljišta na ovim lokalitetima. Rezultati dobijeni primenom CDA analize na ukupnom sadržaju hemijskih elemenata u četinama i listovima su pokazali da Zn ima uticaj na razlike između vrsta samo u parku u Pančevu po prvoj diskriminantnoj funkciji 80.09 % (Slika 13).

Tabela 53. Sadržaj ispitivanih elemenata u zemljištu i biljkama utvrđenih u našim istraživanjima i istih u literaturnim izvorima (mg/kg)

	Al	As	B	Cr	Cu	Fe	Li	Mn	Ni	Pb	Sr	Zn
Zemljišta u urbanim parkovima ^a	10019.41-50045.92	9.56-12.23	105.09-214.74	67.16-126.0	14.28-64.13	17421.18-37996.67	54.77-134.10	365.45-773.61	21.92-128.69	53.84-289.04	27.59-81.26	54.73-188.43
Zemljišta u svetu ^b	/	<0.1-30	1-134	1.4-530	1-70	0.5-5 %	<5-72	7-2000	1-110	2.3-70	5-1000	3.5-220
Ispitivane biljke ^a	15.96-302.47	/	7.15-264.05	0-6.41	1.27-23.51	29.47-1001.33	/	9.54-98.93	0-2.90	0-1.78	4.79-118.55	6.59-56.42
Opseg normalnog sadržaja u biljkama ^b	/	1-1.7	10-100	0.1-0.5	5-30	/	3	30-300	0.1-5	5-10	/	27-150
Opseg deficita u biljkama ^b	/	/	5-30	/	2-5	/	/	10-30	/	/	/	10-20
Povišen ili toksičan opseg u biljkama ^{b,c}	/	5-20	50-200	5-30	20-100	/	5-50	400-1000	10-100	30-300	>30	100-400

^anaša istraživanja

^bKabata-Pendias and Pendias 2001

^cShacklette et al. (1978)

6.3 Efikasnost fotosinteze i fotosintetički pigmenti u četinama i listovima drvenastih vrsta biljaka

Najveći broj studija koja se bave proučavanjem interakcija biljke - metali su usmerene na procese usvajanja jona metala, njihovu akumulaciju, i fitotoksične efekte na fiziološkom nivou (Calfapietra et al. 2015). Analiza koncentracija hemijskih elemenata u zemljištu i tkivima biljka, kao i utvrđivanje fiziološko-biohemijskih promena (smanjenje fotosintetičke efikasnosti, promene u količini fotosintetičkih pigmenta hlorofila i karotenoida i dr.) su neophodni u determinaciji i ranoj dijagnostici fizioloških, a potom i morfoloških simptoma deficita ili toksičnosti. Proces fotosinteze je osetljiv na povišene koncentracije teških metala i kod većine biljaka se uočavaju inhibitorni efekti teških metala na funkcionalnost fotosistema II (PSII) i strukturu hloroplasta. Teški metali inhibitorno deluju na proces fotosinteze direktno kroz inhibiciju sinteze hlorofila, oksidativnu destrukciju membrana hloroplasta, i/ili indirektno kroz inhibiciju ostalih fizioloških procesa koji povratno deluju na fotosintezu. Stoga se biljke koje su izložene toksičnim efektima teških metala odlikuju inhibitornim oštećenjima fotosinteze što za rezultat ima smanjen rast biljaka (Cho et al. 2003; Aggarwal et al. 2011).

Merenje parametra efikasnosti fotosinteze F_v/F_m je često korišćen metod za određivanje fotosintetičke efikasnosti kod biljaka koji pruža pouzdane informacije o meri maksimalne efikasnosti fotosistema II (PSII) (Baker 2008; Sobrado 2008). Predstavlja rani i osetljivi indikator fotoinhibitornih oštećenja fotosintetičkog aparata biljaka u uslovima stresa (Demming-Adams and Adams 1992; Maxwell and Johnson 2000). Ovaj izuzetno važan ekofiziološki parametar je veoma varijabilan tokom sezone i menja se pod uticajem različitih faktora stresa na staništu (Mitrović 1998; Mitrović et al. 2012). U našim istraživanjima, za poređenje dobijenih rezultata korišćene su empirijski utvrđene optimalne vrednosti parametra fotosintetičke efikasnosti (F_v/F_m) koji se kreće u opsegu od 0.750-0.850 (Bjorkman and Demmig 1987). Snižavanje vrednosti ovog parametra u odnosu na navedeni opseg ukazuju na promene u fotohemijskoj efikasnosti PSII i na pojavu fotoinhibitornih oštećenja (Maxwell and Johnson 2000). Javlja se na reakcionom centru fotosistema II, i manifestuje se kroz smanjenje maksimalnog kvantnog prinosa elektrona fotosinteze (Bjorkman and Demmig 1987; Oquist et al. 1992) do koga može doći pod uticajem različitih stresora kao što su toksičnost

hemijskih elemenata, vodni deficit, ekstremne temperature, itd. Toksični metali su poznati po inhibitornom delovanju na proces fotosinteze, mnoge enzime i rast biljaka, a mogu direktno uticati na fluorescenciju hlorofila, kroz inhibiciju sinteze hlorofila, destrukciju membrane hloroplasta i indirektno kroz inhibiciju ostalih fizioloških procesa koji povratno deluju na fotosintezu i uzrokuju promene u količini svetlosne energije potrebne za fotosintezu i procese oslobađanja energije (Baszynski et al. 1982; Krupa and Baszynski 1995).

U ovoj disertaciji, merenja parametra efikasnosti fotosinteze Fv/Fm drvenastih vrsta biljaka su obavljena *in situ* i *in vivo*. Efikasnost fotosinteze, Fv/Fm, je bila u proseku niža kod svih ispitivanih vrsta u odnosu na empirijski utvrđene prosečne optimalne vrednosti za lišćarske i četinarske vrste biljaka (optimalni opseg od 0.750-0.850, Bjorkman and Demmig 1987). Vrednosti Fv/Fm na svim lokalitetima su se kod listopadnih *A. hippocastanum* kretale u sledećem opsegu, 0.703-0.796, a kod *P. acerifolia* u opsegu 0.666-0.831. Kod *A. hippocastanum* su u svim sezonskim presecima vrednosti Fv/Fm bile u optimalnom opsegu izuzev u avgustu kod individua iz parka u Obrenovcu (0.703) i u oktobru kod individua u parku u Beogradu (0.726). Kod *P. acerifolia* su vrednosti Fv/Fm bile takođe u optimalnom opsegu u junu, avgustu i oktobru izuzev kod individua iz parka u Smederevu (0.666) i individua iz parka u Obrenovcu (0.733) u oktobru. Za listopadne drvenste vrste u prirodnim uslovima je očekivano sezonsko snižavanje efikasnosti fotosinteze (Lichtenthaler et al. 1989), kao rezultat prirodnog starenja listova sa jedne, i akumulacije fizioloških oštećenja sa druge strane (Mitrović 1998). Međutim, rezultati dobijeni u okviru ove disertacije su pokazali sezonsku ujednačenost efikasnosti fotosinteze na svim lokalitetima, sa prosečno višim vrednostima izmerenim kod individua listopadnih vrsta sa kontrolnog staništa. Toksičan sadržaj B u listovima *A. hippocastanuma* iz parkova u Smederevu i Beogradu, kao i *P. acerifolia* u parku u Beogradu, odnosno toksičan sadržaj Sr koji je utvrđen u listovima obe vrste na svim lokalitetima izuzev kod *P. acerifolia* u Smederevu su se verovatno odrazili na snižavanje fotosintetičke efikasnosti. Naime, toksične koncentracije izuzetno mobilnog B koji se nošen transpiracionim tokom akumulira na krajevima sudova na vrhu i uz ivice lista u kojima je njegova koncentracija najviša pa je i najizraženiji toksični efekat na tkiva listova. Toksični efekti se prvo manifestuju u vidu vršnih i marginalnih hloroza a kasnije i nekroza, a potom se šire po celoj površini listova

(Pavlović et al. 2004). Visoke koncentracije B najčešće inhibiraju transport elektrona, dovode do oštećenja tilakoidnih membrana što rezultuje aktivacijom reaktivnih kiseoničnih vrsta (Kostić 2014). Isto tako, dugotrajno izlaganje visokim koncentracijama Sr redukuje transport elektrona (Chen et al. 2012). Stroncijum najverovatnije blokira jonske kanale u tilakoidima hloroplasta (Moyen and Roblin 2010), a može da zameni Ca u PSII I tako utiče na kinetička svojstva enzima (Boussac et al. 2004). Osim toksičnih koncentracija B i Sr, u listovima *A. hippocastanum* i *P. acerifolia*, utvrđen je deficit esencijalnih elemenata Cu, Mn i Zn. Cink je bio u opsegu deficita na svim lokalitetima kod obe vrste, osim u parku u parku u Beogradu. Nedostatak Zn se dovodi u vezu sa smanjenom provodljivošću stoma i smanjenom aktivnošću enzima (Kostić 2014). Rezultati CDA analize su pokazali da ovaj parametar nema uticaj na razlikovanje vrsta na ispitivanim lokalitetima (Slika13).

Nasuprot listopadnim vrstama, kod večnozeleno *P. nigra* (kod jednogodišnjih četina Fv/Fm je bio u opsegu 0.530-0.721, a kod dvogodišnjih u opsegu 0.442-0.649). Vrednosti Fv/Fm su kod jednogodišnjih četina tokom sezone bile niže od 0.750 dok su kod dvogodišnjih bile samo do 0.650, što posebno kod dvogodišnjih četina ukazuje na fotoinhibiciju PSII usled akumulacije fizioloških i morfoloških oštećenja četina. Kod ove vrste, jedan od uzroka snižene vitalnosti četina leži u nedostatku esencijalnih mikronutrijenata, pre svega Mn (u jednogodišnjim 9-26 mg/kg i u dvogodišnjim 11-29 mg/kg) koji ima značajnu ulogu u transportu elektrona u PSII (Schmidt et al. 2016). Na ćelijskom nivou, deficit Mn se ispoljava u redukciji broja hloroplasta, redukciji broja funkcionalnih centara PSII, a kod kod izraženog deficita Mn može doći do promene strukture i do oštećenja tilakoidnih membrana hloroplasta (Papadakis et al. 2007; Schmidt et al. 2016). Međutim, često se nedostatak Mn ne reflektuje jasnim vizuelnim simptomima, što je bio slučaj kod jednogodišnjih četina *P. nigra* iz Beograda, čija je efikasnost fotosinteze bila slična ili niža u poređenju sa individuama iz parka u Smederevu na kojima su se pojavili simptomi deficita u vidu hloroza, nekroza, izduženih i retkih četina. Deficitaran sadržaj Cu u četinama takođe može da se dovede u vezu sa smanjenom efikasnošću fotosinteze jer nizak sadržaj Cu smanjuje aktivnost mnogih enzima poput askorbat oksidaze, fenolaze, citohrom oksidaze, superoksid dismutaze, ali i mangan-superoksid dismutaze, kao i oksido-redukujući ciklus između Cu(I) i Cu(II) oksidativnih stanja (Bussler 1981; Kopsell and Kopsell 2007).

Hlorofili (Chl *a* i Chl *b*) i karotenoidi predstavljaju osnovne fotosintetičke pigmente koji ulaze u sastav LHCP kompleksa, ali takođe ulaze u sastav ili su asocirani sa fotohemijским reakcionim centrima (PSI i PSII) (Lambers et al. 1998; Fleschin et al. 2003; Joshi and Swami 2009; Joshi et al. 2009; Seyyednejad et al. 2011). Međutim, karotenoidi imaju i fotozaštitnu funkciju, jer učestvuju u ne-fotohemijском gašenju ekscitovane energije PSII i disipaciji prekomerne energije u vidu toplote (Smirnov 2005). Utvrđeno je da deficit ili toksičnost nekog hemijskog elementa dovodi do inhibicije biosinteze pigmenata, i smanjene efikasnosti fotosinteze (Mysliwa–Kurdziel and Kazimierz 2002). S obzirom da promene u koncentraciji fotosintetičkih pigmenata dovode do promena u efikasnosti fotosinteze, merenje koncentracije hlorofila je koristan indikator stresa zagađivanja na funkcionisanje biljaka (Joshi and Swami 2009; Parkseh et al. 1990).

Sadržaj hlorofila i ukupnih karotenoida u listovima ispitivanih vrsta nije pokazao jasnu pravilnost tokom ispitivane vegetacijske sezone. Sadržaj Chl *a* i Chl *a+b* u jednogodišnjim i dvogodišnjim četinama *P. nigra* je bio relativno nizak tokom cele sezone (0.643-1.657). Sadržaj Chl *a* i ukupnih hlorofila u listovima *A. hippocastanum* je bio viši u poređenju sa druge dve vrste, a najviše koncentracije su izmerene u avgustu. Na nivou lokaliteta, kod ove vrste je izmeren najveći sadržaj Chl *a* izmeren u parkovima u Smederevu (9.289 mg/g) i Beogradu (7.290 mg/g). Ovako visoke koncentracije se mogu smatrati zaštitinim odgovorom *A. hippocastanum* na toksičan sadržaj B i Sr u listovima tokom cele sezone. Naime Chen et al. (2012) su ustanovili na primeru *Brassica napus* da čak i niske koncentracije Sr dovode do povećanja sadržaja Chl *a* i *b*, dok se odnos Chl *a/b* ne menja. Slično su Cervilla et al. (2012) utvrdili povećanje Chl *b* u listovima dva genotipa paradajza (*Solanum lycopersicum* L.) koji su tretirani visokim koncentracijama B, i zaključili da je povećanje sadržaja Chl *b* u ovom slučaju kompenzatorni mehanizam odgovora na gubitak aktivne površine lista zahvaćene nekrozom. S obzirom da je na listovima *A. hippocastanum* već u avgustu uočeno sušenje obodnih delova i intenzivne hloroze i nekroze, verovatno je da je povećanje sadržaja Chl *a* rezultat smanjenja fotosintetičke površine lista. Sadržaj Chl *a* u listovima *P. acerifolia* je bio najniži u parku u Smederevu (0.959-2.556, izuzev u junu) i podudara se sa najnižom izmerenom fotosintetičkom aktivnošću na tom lokalitetu, i verovatno je

rezultat deficita Cu i Zn (Hu and Sparks 1991; Droppa et al. 1987; Wenrong et al. 2008).

U četinama *P. nigra* je uočena opadajuća sezonska dinamika sadržaja Chl *b* u parku u Smederevu, kod dvogodišnjih četina u parkovima u Smederevu i Pančevu, ali i rastuća sezonska dinamika na kontrolnom staništu. Sa druge strane, u listovima *A. hippocastanum* i *P. acerifolia* iz Pančeva, Smedereva i Obrenovca najviše koncentracije Chl *b* su izmerene u junu. Najveće smanjenje u sadržaju Chl *b* od čak 85 % je utvrđeno u periodu jun-oktobar u listovima *A. hippocastanum* iz parka u Smederevu. Smanjenje sadržaja Chl *b* se može smatrati adaptivnim odgovorom biljaka koji im omogućava opstanak u uslovima stresa zagađivanja (Asada et al. 1998). Sezonske promene u sadržaju Chl *b* u listovima svih ispitivanih vrsta su bile značajno manje u odnosu na Chl *a*, što ukazuje na činjenicu da je on manje podložan promenama i manje osetljiv na stres. Na nivou vrste, *A. hippocastanum* je imala najviši sadržaj Chl *b* u listovima, niži *P. acerifolia*, i najniži *P. nigra*.

Odnos Chl *a/b* je parametar koji može da se koristi kao indikator toksičnog efekta akumulacije toksičnih metala u biljnim tkivima (Li et al. 2009) i predstavlja parametar tolerancije biljaka na tamu, odnosno aklimatizacije fotosintetičkog aparata (Beneragama and Goto 2010). Prema Lichtenthaler and Buschmann (2001) opseg odnosa Chl *a/b* za zdrave biljke se kreće od 2.5-3.5. U našim istraživanjima, odnos Chl *a/b* u četinama *P. nigra* se kretao u opsegu 1.3-3.8, u listovima *A. hippocastanum* 0.8-4.3 i *P. acerifolia* 0.8-4.3, ali je u junu bio niži od opsega za zdrave biljke (0.8-2.3), što se dovodi u vezu sa bržom hidrolizom Chl *a* u odnosu na Chl *b*. U listovima *A. hippocastanum* odnos Chl *a/b* je imao rastući sezonski trend, a na nivou lokaliteta je bio najviši u uzorcima iz parka u Smederevu zbog visoke koncentracije Chl *a* što je uslovalo i povećanje odnosa Chl *a/b*.

Koncentracija ukupnih karotenoida u četinama *P. nigra* je bila relativno ujednačena tokom sezone vegetacije. U jednogodišnjim četinama iz parkova u Pančevu, Smederevu i Beogradu, kao i u dvogodišnjim iz parka u Smederevu, uočen je opadajući sezonski trend ukupnih karotenoida. Nasuprot četinama, sadržaj ukupnih karotenoida u listovima *A. hippocastanum* je bio najviši u avgustu kada je bio period najviših temperatura i najvećih suša, što se zajedno sa povećanjem sadržaja Chl *a* može posmatrati kao odgovor na stresne uslove na ispitivanim lokalitetima. Sličan rezultat su

u svojim istraživanjima dobili Brugnoli et al. (1994) koji su utvrdili povećanje sadržaja ukupnih karotenoida u listovima *Ligustrum ovalifolium*, usled aktivacije zaštitinih mehanizama PSII u uslovima stresa (Gajić et al. 2009). Akumulacija ukupnih karotenoida u listovima *A. hippocastanum* može biti prouzrokovana i akumulacijom teških metala (Kenneth et al. 2000), u ovom slučaju B i Sr. Nabeela et al. (2015) su u eksperimentu na sadnicama *Brassica napus* utvrdili da niske koncentracije pepela koji sadrži teške metale imaju stimulatorni efekat na Chl *a* i *b*, ali i na ukupne karotenoide, a slično povećanje ukupnih karotenoida su utvrdili i Adekayode and Olojugba (2010) u listovima *Zea mays*. Ovi autori povećanje u koncentraciji pigmenata pripisuju prisustvu B i Zn u pepelu koji utiču na sadržaj hlorofila u biljkama (Patterson 2001). Da je sadržaj karotenoida individualna karakteristika svake vrste pokazuju *P. acerifolia* čija je sezonska distribucija pigmenata zavisila od lokaliteta uzorkovanja. Rastuća sezonska distribucija sadržaja ukupnih karotenoida je utvrđena u parku u Pančevu i na kontrolnom staništu, a opadajuća u parku u Smederevu, gde je u oktobru izmereno samo 0.419 mg/g. Na nivou vrste najviši sadržaj ukupnih karotenoida je izmeren u listovima *A. hippocastanum*, niži u listovima *P. acerifolia*, i najniži u četinama *P. nigra* (samo 0.210-0.455 mg/g). Rezultati CDA analize koncentracije biljnih pigmenata u četinama i listovima ispitivanih vrsta su pokazali da pigmenti imaju značaj na razlike između u parkovima u Pančevu, Smederevu, Obrenovcu i na kontrolnom staništu (Slika 13).

Biljke na stres zagađivanja toksičnim elementima često odgovaraju smanjivanjem sadržaja fotosintetičkih pigmenata (Tripathi and Gautam 2007; Gajić et al. 2009; Joshi and Swami 2009; Giri et al. 2013). Najčešći simptom delovanja teških metala poreklom iz saobraćaja na pigmente je oštećenje hloroplasta što za rezultat ima smanjenje sadržaja pigmenata u listovima (npr. kod *Cassia fistula* i hibrida vrsta roda *Eucalyptus*, Tripathi and Gautam 2007), zatim smanjenje ukupnog sadržaja hlorofila (od 3.44 - 48.73 % kod velikog broja biljka koji se koriste u ljudskoj ishrani (Joshi and Swami 2009), kod *Azadirachta indica*, *Nerium oleander*, *Mangifera indica* i *Dalbergia sissoo* (Giri et al. 2013) i *Ligustrum ovalifolium* (Gajić et al. 2009). Sa druge strane, nije nepoznanica da u uslovima stresa zagađivanja biljke reaguju tako što povećavaju njihov sadržaj, kao deo adaptivnog odgovora (Agbaire and Esiefarienrhe 2009; Kostić 2014). Tripathi and Gautam (2007) su utvrdili povećanje od 12.8 % u listovima *Mangifera indica* izloženim zagađenju poreklom iz vazduha, Keser (2013) u listovima *Lepidum*

sativum koji su bili tretirani otpadnim vodama, Dezhban et al. (2015) u listovima *Robinia pseudoacacia* koji su tretirani teškim metalima Cd i Pb, Nabeela et al. (2015) u sadnicama *Brassica napus*, Sai Kachout et al. (2015) u *Atriplex hortensis* i *Atriplex rosea* na zemljištu tretiranom različitim koncentracijama metala. Odgovor biljaka na efekte zagađenja je specifičan za vrstu i različite biljne vrste imaju različite odgovore i adaptivne mehanizme za opstanak u uslovima stresa na staništu.

6.4 Morfološke promene i simptomi oštećenja četina i listova drvenastih vrsta biljaka

Urbane šume, pre svega drvenasta vegetacija, doprinosi unapređenju kvaliteta vazduha u urbanoj sredini (Bosko et al. 2005; McDonald et al. 2007; Tallis et al. 2011; Sæbø et al. 2012; Janhäll 2015). Biljke, posebno one sa velikom lisnom površinom, deluju kao biofilter aeropolutanata zbog hrapave i velike kontaktne površine i na taj način mogu efikasno da redukuju atmosfersku prašinu i filtriraju suspendovane čestice (Wang 2011), posebno PM_{2,5} respirabilne čestice (2-10%, McDonald et al. 2007; 9%, Yin et al. 2011). Na prostornoj skali, neki rezultati ukazuju da drvenaste vrste krupnih listova uklanjaju od 300 Mt aeropolutanata (Christchurch, Novi Zeland, Cavanagh 2017), do čak 1261 Mt (Peking, Kina, Yang et al. 2005). Zato se sadnja drveća u urbanim parkovima i drvoredima koristi kao mera za ublažavanje nepovoljnih uslova urbane sredine.

Na staništima izloženim zagađivanju, interakcije između biljaka i različitih tipova polutanata su predmet brojnih ispitivanja pri čemu je veliki broj studija usmeren na efekte polutanata na fiziološke i biohemijske procese (Cho et al. 2003; Baker 2008; Sobrado 2008; Aggarwal et al. 2011) a jedan broj se odnosi na promene u morfoanatomskoj strukturi listova i četina (Mitrović et al. 2008; Gajić 2009; Sawidis et al. 2011; Bini et al. 2012; Nikolić et al. 2017). Kutikula pokriva spoljašnje zidove epidermisa svih nadzemnih organa biljke i predstavlja najvažniju barijeru između biljke i spoljašnje sredine. Ukoliko interakcija između atmosferskih polutanata i listova dovede do oštećenja površinskih slojeva kutikule te promene se mogu posmatrati kao biomarkeri zagađivanja i poslužiti u dijagnostici različitih tipova polutanata. Zagađivanje urbane sredine za rezultat često ima i oštećenja trihoma i ćelija zatvaračica stoma. Istraživanja metodom SEM mikroskopije listova biljaka koje rastu na zagađenim

staništima su pokazala značajne razlike u nivou oštećenja stoma, oštećenja kutikule i epikutikularnih voskova (Gostin 2016).

Naša istraživanja su pokazala da su simptomi oštećenja perifernih zaštita listova ispitivanih vrsta specifična za vrstu, i da se kreću od vrlo blagih do intenzivnih. Listopadne vrste imaju krupne listove i veliku lisnu ploču koja je kod nekih vrsta prekrivena i trihomama pa predstavljaju pogodnu površinu za depoziciju i zadržavanje atmosferskih čestica, ali i materijala biogenog porekla (Simon et al. 2014). Morfološke karakteristike listova (hrapavost površine liske, broj, veličina i gustina trihoma i struktura kutikularnih voskova) utiču na intenzitet atmosferske depozicije (Singh et al. 2005; Freer-Smith et al. 2005; Dzierżanowski et al. 2011; Sgrigna et al. 2015; Mo et al. 2015). Sæbø et al. (2012) je proučavajući 40 različitih vrsta biljaka našao pozitivnu korelaciju između depozicije čestica i gustine, oblika i veličine trihoma, kao i sadržaja voska u kutikuli, pri čemu su deblji listovi pokazali manju depoziciju svih tipova čestica većih od 2.5 mm. U zavisnosti od hemijskih svojstava, čestice obogaćene teškim metalima će biti ili deponovane na epikutikularnim voskovima ili će putem stoma dospeti u unutrašnja tkiva listova (Sæbø et al. 2012; Deljanin et al. 2016). Na mikrografijama lica i naličja listova četinarske vrste *P. nigra* se jasno zapaža drugačiji način depozicije atmosferskih čestica u poređenju sa lišćarskim *A. hippocastanum* i *P. acerifolia* zbog glatke površine četina, zbog čega se sporije i teže deponuju čestice, ali se i lakše spiraju padavinama. Za razliku od njih, listovi lišćarskih vrsta imaju krupne epidermalne ćelije i talasastu kutikulu, ili imaju trihome kao mladi listovi *P. acerifolia*. Načelno, čestice i njihovi agregati su sitniji na četinama nego na listovima.

SEM mikrografije četina *P. nigra* različite starosti pokazuju da je veća depozicija atmosferskih čestica, kao i da su izraženiji simptomi oštećenja struktura perifernih zaštita na četinama iz urbanih parkova u odnosu na iste sa kontrolnog staništa. Depozicija atmosferskih čestica je veća na naličju nego na licu četina, oštećenja su izraženija u uzorcima iz oktobra u odnosu na iste iz juna, dvogodišnje četine imaju veći intenzitet oštećenja i veću količinu deponovanih čestica u odnosu na jednogodišnje, i postoje određene razlike na nivou lokaliteta. Dominiraju čestice PM_{2.5}, posebno na individuama iz parkova u Smederevu, Obrenovcu i Beogradu. U Smederevu, poreklo finih čestica se vezuje za emisiju iz visoke peći železare Smederevo, u Obrenovcu za fine čestice pepela poreklom sa obližnje deponije termoelektrane, a u Beogradu za

saobraćaj. Zadržavanje ovih finih čestica na površini lista može da utiče na oštećenja zaštitnih struktura listova, a njihova penetracija u ćelijske zidove ili citoplazmu može dovesti do oštećenja kutikule i do preranog sazrevanja i opadanja listova (Terzaghi et al. 2013), što je i bio slučaj sa jednogodišnjim četinama iz parkova u Smederevu i Beogradu. Jednogodišnje četine *P. nigra* nisu imale oštećenja kutikule, odnosno epikutikularnih voskova izuzev blage erozije u uzorcima iz parkova u Smederevu i Beogradu. U proseku su imale manji broj čestica na svojim površinama, dok je na kraju vegetacijske sezone bio srazmerno veći broj deponovanih čestica i intenziviran je nivo oštećenja kutikularnih voskova naročito na naličju četina, u zoni oko stoma, posebno na individuama iz parkova u Smederevu i Obrenovcu. Kod dvogodišnjih četina, očekivano je veće oštećenje kutikule i stoma u poređenju sa jednogodišnjim, kao i veća količina deponovanih čestica, a u zoni oko stoma su izraženija oštećenja u uzorcima iz oktobra na svim lokalitetima. Četine *P. nigra* imaju debeli sloj kutikule i slojeve epikutikularnih voskova koji formiraju glatku površinu iznad epidermalnih ćelija i smatra se da zato što imaju mali odnos površine i zapremine usled čega čestice iz vazduha slabo prijanjaju na njihovu glatku površinu te se elementi ne apsorbuju u hipodermis (Riederer and Schneider 1990; Sawidis et al. 2011). Istraživanja su pokazala da ultrafine čestice ($<0.1 \mu\text{m}$) ili fine čestice ($<2 \mu\text{m}$) mogu da prodru u tkivo putem stoma (Ottel  et al. 2010) i izazovu oštećenja hlarenhima. Takođe, smatra se da je kutikula  etina *P. nigra* gotovo nepropusna (Barber et al. 2004), ali zbog izuzetno visoke gustine stoma po jedinici površine ($10000/\text{cm}^2$) može da dođe do prodiranja gasovitih polutanata u unutrašnja tkiva (Sawidis et al. 2011). Neka istraživanja su pokazala da su četinarske vrste efikasnije u deponovanju čestica u poređenju sa listopadnim, uprkos činjenici da nemaju veliku površinu, ali zadržavaju četine po nekoliko vegetacijskih sezona i fiziološki su aktivne tokom zimskog perioda (Beckett et al. 1998; S eb  et al. 2012), ali je njihova osetljivost na zagađenje veća. Aeropolutanti mogu da utiču na modifikovanje strukture voskova na listovima i četinama, a erozija kod četinara obično počinje od epikutikularnih voskova oko stoma (Turunen et al. 1997). U slučaju delovanja različitih tipova gasovitih polutanata, kao i kombinacija sa ostalim polutantima poput teških metala, u  elijama palisadnog tkiva kod lišćarskih vrsta, ili hlarenhima kod četinarskih, može doći do akumuliranja pigmenata tamne boje što se manifestuje tamnim mrljama na površini listova (McQuattie and Schier 1992). Slično se i oštećenja sunderastog tkiva

manifestuju kao nekroze na naličju listova. Oštećenja stoma kod ove vrste mogu značajno da utiču na promet gasova i odvijanje fizioloških procesa u četinama jer se one nalaze u ravni epidermisa, u nizovima duž lica i naličja četina.

Od širokolisnih vrsta, liske sa hrapavim površinama su efikasnije od vrsta sa glatkim lisnim površinama (Beckett et al. 2000b; Hwang et al. 2011). Krupne ćelije epidermisa, talasasto naborana struktura kutikularnih voskova na licu i naličju listova kao i prisustvo glandularnih trihoma duž centralnog nerva (*A. hippocastanum*), ili na celoj površini listova (*P. acerifolia*) obe lišćarske vrste omogućavaju značajno veću depoziciju atmosferskih čestica, ali i deponovanje polenovih zrna biljaka, spora i hifa različitih vrsta gljiva uključujući i patogene vrste i drugog materijala biogenog porekla. Tokom sezone na listovima *A. hippocastanum* se povećavala količina čestica naročito u nedostatku padavina (period jul-septembar), što je uticalo i na formiranje agregata čestica (>30 μm), koji su posebno bili izraženi na uzorcima listova iz Pančeva, Smedereva i Beograda. Ovu vrstu karakteriše hipostomatični listovi kod kojih su stome na naličju listova i zaštićene ćelijama epidermisa tako da se oštećenja stoma retko uočavaju. Za razliku od *A. hippocastanum* na licu lista *P. acerifolia* se deponje manji broj čestica i njihovih agregata, verovatno zato što dolazi do gubitka trihoma tokom sezone, epidermske ćelije su sitnije, dok je kutikula tanja, manje naborana sa izraženim površinskim strijacijama i izdignutim obodima oko stoma (Carpenter et al. 2005). Razlike na nivou samog lista u efikasnosti u zadržavanju čestica između dlakave površine naličja listova koje zadržavaju veću količinu $\text{PM}_{2.5}$ čestica nego na licu lista je utvrđena kod vrste *Platanus occidentalis* (Hwang et al. 2011). Najveća depozicija finih čestica je ustanovljena u Obrenovcu, i kao i u prethodnim slučajevima može se dovesti u vezu sa česticama letećeg pepela. Osim toksičnih hemijskih karakteristika, pepeo može i mehanički da utiče na površinu listova (efekat abrazije), može da deluje i kao fizička barijera smanjujući dostupnost aktivne fotosintetičke radijacije, usled čega dolazi do povećanja temperature lisne površine, smanjenja fotosintetičke efikasnosti, poremećaja u sintezi fotosintetičkih pigmenata, i sušenja listova (Pavlović et al. 2004). I u ovom slučaju, primetno je povećanje depozicije tokom sezone do oktobra. Na listovima *P. acerifolia* iz parka u Smederevu, dominiraju krupnije čestice u poređenju sa istim sa drugih lokaliteta.

Morfološke promene na listovima mogu poslužiti i za dijagnostiku efekata toksičnosti teških metala i drugih potencijalno toksičnih elemenata, i/ili deficita esencijalnih elemenata u biljkama (McCauley et al. 2009). Najčešći simptomi nedostatka esencijalnih elemenata su hloroze i nekroze mladih listova, promena zelene boje liske u smeđu, ljubičastu ili crvenu, usporen rast i promene u izgledu liske (uvijanje marginalnih delova listova, venjenje itd.). Opšti simptomi toksičnosti teških metala podrazumevaju usporen i/ili redukovan rast i oštećenja korenovog sistema, hloroze i nekroze smeđe i tamnozeleno boje koje se češće javljaju na starijim listovima, sušenje i opadanje starijih listova (Kabata-Pendias and Mukherjee 2007). Generalno, smatra se da su biljke tolerantnije na povišen sadržaj nego na deficitarni sadržaj nekog elementa (Kabata-Pendias and Pendias 2001). Poznavanje uloge i mobilnosti toksičnih i esencijalnih elemenata je takođe značajno u determinaciji morfoloških promena na biljkama budući da se mobilni elementi poput N, P, K, Cl, B, Mg i Mo nesmetano transportuju iz zemljišta do mladih listova u fazi diferencijacije i razvoja tkiva pa se njihov nedostatak u kasnijim periodima sezone vegetacije uočava na starijim listovima. Nasuprot tome, Ca, Cu, Fe, Mn, Ni, S i Zn su slabo mobilni pa će se simptomi deficita prvo uočiti na mladim listovima (McCauley et al. 2009).

Naša istraživanja su pokazala prisustvo simptoma oštećenja listova kod svih ispitivanih vrsta, ali i razlike vezane za vrstu. Analiza sadržaja hemijskih elemenata u ispitivanim biljkama u urbanim parkovima je pokazala toksični sadržaj B i Sr sa jedne strane, i deficit Cu, Mn i Zn, sa druge strane, koji se manifestovao u vidu vršnih nekroza i tačkastih hloroza na četinama *P. nigra* i vršnih, marginalnih i intravenalnih hloroza i nekroza na listovima *A. hippocastanum* i *P. acerifolia*. Na četinama *P. nigra* simptomi su se ispoljavali pretežno u vidu vršnih hloroza i nekroza, hloroza u bazalnom delu četina i sušenja starijih četina (dvogodišnjih), pri čemu su najizraženija oštećenja detektovana na ispitivanim individuama iz parka u Smederevu. Na kontrolnom staništu, nisu uočene značajne promene, ali su registrovane vršne hloroze na pojedinim jednogodišnjim i vršne hloroze i tačkaste hloroze na ostalim delovima pojedinačnih dvogodišnjih četina. U parku u Pančevu, u najvećem delu sezone ispitivanja, jednogodišnje i dvogodišnje četine su bile zdrave i bez simptoma oštećenja, izuzev u avgustu kada su uočene nekrotične površine tamnosmeđe boje na oba tipa četina i u oktobru kada je uočen jedan broj osušenih dvogodišnjih četina. Nasuprot tome, na

dvogodišnjim četinama *P. nigra* iz parka u Smederevu su već u junu uočeni prvi simptomi oštećenja u vidu vršnih nekroza i hloroza posebno izraženih u bazalnom delu četina i jedan broj suvih četina. Slični simptomi su evidentirani i na jednogodišnjim četinama na kojima su dominirale tačkaste hloroze. Vršne nekroze su karakterističan simptom toksičnosti B kod biljaka, ali mogu ukazivati i na deficit Zn (Gupta 2007). Toksičnost B može dovesti i do preranog sušenja i opadanja listova što je uočeno kod dvogodišnjih četina *P. nigra* u junu, i jednogodišnjih u oktobru u parku u Smederevu (McCauley et al. 2009). Slično se i nedostatak Cu u biljkama ispoljava u vidu hloroza na mladim listovima i melanoza (delovi liske dobijaju smeđu boju), ali vršne hloroze mogu biti i simptom deficita esencijalnog makroelementa K (Mengel and Kirkby 2001; McCauley et al. 2009). U parku u Obrenovcu, prvi simptomi su uočeni kod dvogodišnjih četina u avgustu, a kod jednogodišnjih u oktobru, u vidu vršnih hloroza i hloroza u bazalnom delu četina. U parku u Beogradu, na jednogodišnjim četinama nisu uočeni značajni vidljivi simptomi oštećenja za razliku od dvogodišnjih na kojima su uočene retke vršne hloroze i nekroze, naročito u oktobru kada su hloroze bile izražene i u središnjem delu četina.

Vrsta *A. hippocastanum* za razliku od ostalih ispitivanih vrsta ima najizraženije simptome oštećenja izazvanih delovanjem patogena, tokom cele sezone. Dosadašnja proučavanja patogena ove drvenaste vrste na urbanim staništima su pokazala delovanje nekoliko vrsta štetnih insekata (*Cameraria ohridella*, *Aegosome scabricorne* i *Zeuzera pyrina*) i patogenih organizama (*Erysiphe flexuosa*, *Guignardia aesculi*, *Phytophthora* sp.) (Ćirković-Ognjanović and Glavendekić 2013). U ispitivanim urbanim parkovima, naizraženija su oštećenja na listovima *A. hippocastanum* izazvana delovanjem kestenovog moljca *Cameraria ohridella* Deschke et Dimić, koji pravi hodnike "mine" najčešće na adaksijalnoj strani lista, hraneći se palisadnim tkivom (Weryszko-Chmielewska and Haratym 2012). Oštećene površine se najpre javljaju na marginalnim delovima listova, a kasnije često prekrivaju celu površinu lisne ploče i održavaju se tokom cele vegetacijske sezone. Životni ciklus kestenovog moljca počinje u vreme cvetanja, a tokom vegetacijske sezone se razvije 3-4 generacije ovog insekta. Na početku sezone, tragovi delovanja patogena nisu detektovani na listovima individua sa kontrolnog staništa i iz parka u Obrenovcu. Međutim, sa pojavom patogena tokom vegetacijske sezone se razvijaju oštećenja listova koja su najizraženija u avgustu i u

oktobru kada dolazi do prevremenog sazrevanja i opadanja listova. Najizraženija oštećenja ovog tipa su uočena na individuama *A. hippocastanum* u parkovima u Pančevu, Smederevu i posebno u Beogradu pri čemu zbog dominantnog simptoma delovanja biotičkih faktora nije moguće sa sigurnošću razlikovati simptome izazvanih abiotičkim faktorima odnosno polutantima poreklom iz antropogenih izvora. Već u avgustu, na svim lokalitetima promene u vidu intervenalnih hloroza, i vršnih i marginalnih nekroza su rezultirale sušenjem marginalnih delova lista. Sušenje listova *A. hippocastanum* u oktobru je uočeno na svim lokalitetima, ali je najintenzivnije bilo u parku u Beogradu. Opisane promene se mogu dovesti u vezu sa toksičnim efektima B i Sr (Kabata-Pendias and Mukherjee 2007), ali i deficitom Cu, Mn i Zn. Za Mn se smatra da nije mobilan element zbog čega se vizuelni efekti njegovog nedostatka prvo ispoljavaju na mlađim listovima u vidu intervenalnih hloroza (Humphries et al. 2007; McCauley et al. 2009).

Slično, kod *P. acerifolia* su na svim lokalitetima, osim u Beogradu u junu utvrđene morfološke promene u sva tri sezonska preseka koje su po intenzitetu manje nego kod *A. hippocastanum*. Najintenzivnija oštećenja u vidu intravenalnih hloroza i nekroza koje zauzimaju veliki deo lisne ploče su detektovana na individuama ove vrste iz parka u Smederevu, i nešto manjeg intenziteta iz parka u Beogradu. Nivo oštećenja se povećava tokom sezone, u avgustu i oktobru. Najizraženiji simptomi oštećenja su uočeni na uzorcima iz Smedereva, Beograda i sa kontrolnog staništa. Listovi *P. acerifolia* iz Smedereva su već u junu pokazali simptome u vidu promene boje listova, verovatno usled gubitka hlorofila i intravenalne nekroze. Visoke koncentracije teških metala izazivaju biohemijske promene u listovima koji su slične promenama izazvanim delovanjem patogena (Krämer et al. 1999). Intravenalne nekroze osim polutantima mogu biti izazvana delovanjem patogena (gljiva *Apiognomonium veneta* asexual: *Discula platani*, preživljava zimski period u grančicama i suvim listovima, a bolest koju izaziva je antrahnoza-Anthracoze; zatim gljiva *Ceratocystis fimbriata* (Ell. and Halst.) Davidson f. sp. *platani* Walter, Tubby and Pérez-Sierra 2015). Simptomi su naizraženiji u proleće u vidu velikih nekrotičnih površina između lisnih nerava, a navedena oštećenja se šire kako odmiče vegetacijska sezona. U svakom slučaju, kod *P. acerifolia* je evidentno sinergističko delovanje nekoliko faktora, toksičan sadržaj B, deficit esencijalnih elemenata Cu, Mn i Zn, kao i delovanje patogena.

7. ZAKLJUČCI

Odgovori biljaka na specifične uslove koji vladaju na urbanim staništima su korelisani sa njihovim ekofiziološkim karakteristikama. Stoga je razumevanje ekofiziološkog odgovora različitih vrsta biljaka na zagađivanje urbanih zemljišta od velikog značaja za uspešno obnavljanje urbanih staništa degradovanih antropogenim aktivnostima. Predmet istraživanja ove doktorske disertacije su bila ispitivanja ekofizioloških karakteristika drvenastih vrsta biljaka (*Pinus nigra* Arn., *Aesculus hippocastanum* L., i *Platanus acerifolia* (Ait.) Willd.) i proučavanje njihovog odgovora na efekte stresa zagađivanja u urbanoj sredini, u četiri velika industrijska centra u Srbiji (Pančevo, Smederevo, Obrenovac i Beograd). Definisani su i dominantni abiotički faktori koji negativno utiču na rast ispitivanih četinarskih i lišćarskih vrsta biljaka na staništima u urbanim i industrijskim zonama. Mereni su i analizirani fiziološki, biohemijski i morfološki odgovori biljaka na zagađivanje teškim metalima i metaloidima. Na osnovu dobijenih rezultata procenjen je potencijal ispitivanih vrsta za korišćenje u biomonitoringu zagađivanja u urbanim i industrijskim zonama čime se pruža osnova za buduću procenu stanja životne sredine i upravljanje urbanim parkovima.

Rezultati analize fizičkih karakteristika zemljišta su pokazali da zemljišta u gradskim parkovima u Pančevu, Smederevu i Beogradu po granulometrijskom sastavu pripadaju teksturnoj klasi peskovito-glinovite ilovače, sa dominacijom frakcije ukupnog peska koju karakteriše dobra propustljivost za vodu i visok nivo aeracije zemljišta sa jedne, i nedostatak organskog ugljenika sa druge strane. Zemljišta u Obrenovcu i na kontrolnom staništu pripadaju klasi glinovita ilovača i sadrže relativno ujednačen procenat peska, gline i praha. Zemljišta sa ovakvim granulometrijskim sastavom imaju povoljnije fizičke osobine koje podrazumevaju povoljnu dreniranost i veći sadržaj organske materije u odnosu na peskovita zemljišta. Rezultati merenja sadržaja higroskopne vlage u uzorcima zemljišta u urbanim parkovima su u skladu sa granulometrijskim sastavom pokazala prosečno nizak sadržaj higroskopne vlage (2.64-4.11 %) pri čemu je najniži izmeren u parku u Smederevu, a najviši u parku u Pančevu.

Ispitivanja hemijskih karakteristika urbanih zemljišta su pokazala da se pH_{H_2O} kretala u uskom opsegu od 8.44-8.61 što ih svrstava u umereno alkalna (US Soil Survey Division Staff 1993), dok se pH_{KCl} kretala u opsegu od 6.84-7.00 što klasifikuje ova

zemljišta u neutralna. Količina organskog ugljenika (OC) je bila u opsegu od 2.10-5.56 %, pri čemu je najveći sadržaj izmeren u zemljištu u parku u Beogradu što ukazuje i na antropogeni izvor ovog elementa imajući u vidu da je park lociran u zoni intenzivnog saobraćaja. Činjenica da zemljišta sa većim procentom OC imaju veći sadržaj azotnih jedinjenja je potvrđena i ovim istraživanjima. Upravo je najviši sadržaj N izmeren u zemljištu u parku Pionir (0.40 %). Odnos C/N kao jedan od važnih parametara mineralizacije organske materije u zemljištu je bio povoljan (C/N <20). Najpovoljniji odnos C/N je utvrđen u zemljištu u parku u Pančevu, a najmanje povoljan u zemljištu u parku u Beogradu što ukazuje da se odnos C/N može posmatrati i kao indeks antropogenog pritiska na urbana zemljišta.

Analiza sadržaja teških metala i metaloida je pokazala geološko poreklo Al, Fe i Li, antropogeno poreklo Pb i Sr, i geološko i antropogeno poreklo B, Cr, Cu, Mn, Ni i Zn. Rezultati BCR sekvencijalne ekstrakcije uzoraka zemljišta su pokazali da najmanju mobilnost i dostupnost u zemljištu imaju elementi Al, Cr, Fe i Li jer su čvrsto vezani za kristalnu rešetku minerala. U grupu srednje mobilnih elemenata se svrstavaju B, Cu, Mn, Ni i Zn, dok su najveću mobilnost i najveću potencijalnu dostupnost biljkama pokazali Pb i Sr koji su u najvećem procentu ekstrahovani u kiselo-rastvornoj/izmenljivoj fazi. Ukupan sadržaj B, Cr, Li, Mn, Ni, Pb i Zn u ispitivanim zemljištima je bio iznad prosečnih vrednosti za zemljišta peskovitog i glinovito-ilovastog sastava (Kabata-Pendias and Pendias 2001). Sadržaj B u zemljištima iz svih ispitivanih parkova, Cr i Ni u parkovima u Smederevu i Obrenovcu, i Pb u parkovima u Smederevu i Beogradu je bio iznad maksimalno dozvoljenih koncentracija (MDK), propisanih Uredbom Republike Srbije (SGRS 1994). Na osnovu navedenih rezultata može se zaključiti da je najizraženiji antropogeni uticaj na zemljišta u parkovima u Smederevu, Beogradu i Obrenovcu.

Rezultati merenja količine hemijskih elemenata u kori i listovima ispitivanih vrsta je pokazala da na njihov sadržaj utiču ekofiziološke karakteristike vrste, sadržaj hemijskih elemenata u zemljištu i lokalitet. U kori *A. hippocastanum* je izmeren veći sadržaj Al, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni i Pb u poređenju sa istim kod druge dve vrste. Generalno, viši sadržaj teških metala i metaloida je izmeren u kori u poređenju sa četinama i listovima, osim u slučaju B i Mn, što je rezultat uticaja akumulacije elemenata iz zemljišta i depozicije hemijskih elemenata iz vazduha. U tom smislu je utvrđen

gradijent u akumulaciji hemijskih elemenata u kori ispitivanih vrsta: *A. hippocastanum* > *P. nigra* > *P. acerifolia* koji je posledica različite teksture i poroznosti ispitivanih kora, uz izuzetak utvrđen za Sr, čiji je sadržaj bio najviši u kori *P. acerifolia*. Načelno, listopadne vrste su efikasnije u akumuliranju teških metala i metaloida u listovima u poređenju sa četinama (jednogodišnjim i dvogodišnjim), međutim, za razliku od kore, u slučaju listova nije moguće utvrditi opšti gradijent zato što je lokalitet odnosno stanište dominantni faktor koji utiče na sadržaj elemenata (izuzev u slučaju Cu i Zn). Međutim, rezultati ukazuju da listopadne vrste akumuliraju u proseku veći sadržaj Al, B, Fe, Mn i Sr, dok večnozeleni *P. nigra* akumulira veći sadržaj Pb i Zn u jednogodišnjim i dvogodišnjim četinama. Ranije navedeni abiotički faktori limitirajući za funkcionisanje urbane vegetacije koji se odnose na nepovoljne fizičko-hemijske karakteristike u sinergističkom delovanju sa nepovoljnim klimatskim parametrima (visoke temperature i mala količina padavina) u značajnom delu ispitivane vegetacijske sezone (period juli-septembar) su uticali na funkcionisanje ispitivanih vrsta biljaka na urbanim staništima. Naime zahvaljujući alkalnoj reakciji zemljišta i maloj količini padavina esencijalni elementi Cu, Mn i Zn su bili u koncentracijama koje se smatraju deficitarnim za optimalno fiziološko funkcionisanje biljaka (Kabata-Pendias and Pendias 2001). Name, postojeće fizičko-hemijske karakteristike zemljišta su uslovile da se ovi elementi talože u formi hidroksida, što ih čini imobilnim i nedostupnim biljkama na pH>8. Sa druge strane, alkalna reakcija zemljišta, visoke temperature i nedostatak padavina je za rezultat imao taloženje B i Sr poreklom iz antropogenih izvora u zemljištu što je uzrokovalo njihovu veću akumulaciju u listovima *A. hippocastanum* i *P. acerifolia*, u koncentracijama koje se smatraju toksičnim za biljke (Kabata-Pendias and Pendias 2001). To je potvrđeno vrednostima BCF>1 za B u listovima *A. hippocastanum* u parkovima u Smederevu i Beogradu, za Sr na svim ispitivanim lokalitetima kao i za Sr u listovima *P. acerifolia* iz parkova u Pančevu i Beogradu. Ovi rezultati ukazuju i na potencijal navedenih vrsta za fitostabilizaciju B i Sr u zemljištima. Kao u slučaju zemljišta, urbani parkovi koji su se na osnovu koncentracija metala u biljnom materijalu izdvojili kao staništa sa najizraženijim antropogenim uticajem su u Smederevu, Obrenovcu i Beogradu.

Ispitivanja odnosa između sadržaja hemijskih elemenata u zemljištu i biljkama su pokazala da ne postoji njihova direktna povezanost, i da na usvajanje elemenata iz

zemljišta od strane biljaka utiče niz faktora poput teksture, vlage, pH reakcije zemljišta, ali takođe i specifičnosti vezane za biljnu vrstu.

Efikasnost fotosinteze, Fv/Fm, je bila u proseku niža kod svih ispitivanih vrsta u odnosu na empirijski utvrđene prosečne optimalne vrednosti za lišćarske i četinarske vrste biljaka (0.750-0.850, Bjorkman and Demmig 1987). Vrednosti Fv/Fm, na svim lokalitetima zbirno, su se kod *A. hippocastanum* kretale u sledećem opsegu, 0.703-0.796, a kod *P. acerifolia* u opsegu 0.666-0.831. Vrednosti Fv/Fm su u najvećem delu vegetacijske sezone i u najvećem broju urbanih parkova se kretale u opsegu optimalnih vrednosti za biljke, u uslovima nedostatka vlage u zemljištu i toksičnog sadržaja B i Sr i deficita Cu, Mn i Zn. Kod *A. hippocastanum* su u svim sezonskim presecima vrednosti Fv/Fm bile u optimalnom opsegu izuzev u avgustu kod individua iz parka u Obrenovcu (0.703) i u oktobru kod individua u parku u Beogradu (0.726). Kod *P. acerifolia* su vrednosti Fv/Fm bile takođe u optimalnom opsegu u junu, avgustu i oktobru izuzev kod individua iz parka u Smederevu (0.666) i individua iz parka u Obrenovcu (0.733) u oktobru. Nasuprot listopadnim vrstama, kod večnozeleno *P. nigra* (kod jednogodišnjih četina Fv/Fm je bio u opsegu 0.530-0.721, a kod dvogodišnjih u opsegu 0.442-0.649) je izmerena značajno niža efikasnost fotosinteze: vrednosti Fv/Fm su kod jednogodišnjih četina tokom sezone bile niže od 0.750 dok su kod dvogodišnjih bile čak i niže, do 0.650, što posebno kod dvogodišnjih četina ukazuje na fotoinhibiciju PSII usled akumulacije fizioloških i morfoloških oštećenja četina.

Kada je o fotosintetičkim pigmentima reč, utvrđeno je da na količinu Chl *a*, Chl *b*, Chl *a+b*, Tot carot, dominantni uticaj ima vrsta. Generalno, listopadne vrste su imale veći sadržaj Chl *a* i Chl *b* u poređenju sa četinarskom vrstom. Kod *A. hippocastanum* najveći sadržaj Chl *a*, ukupnih hlorofila i ukupnih karotenoida je izmeren u avgustu, i bio je značajno viši u odnosu na druge dve vrste. Visok sadržaj Chl *a* izmeren u avgustu u listovima *A. hippocastanum* je verovatno mehanizam zaštite kao odgovor na toksične koncentracije B i Sr. Sa druge strane u listovima *P. acerifolia* najviši sadržaj Chl *a* je izmeren u junu. Međutim za razliku od promena u sadržaju Chl *a*, sezonske promene u sadržaju Chl *b* su bile značajno manje, što ukazuje na njegovu manju osetljivost. Odnos Chl *a/b* koji se koristi kao rani pokazatelj toksičnog efekta akumulacije metala u biljnom tkivu je bio povoljan i u proseku se kretao u opsegu za zdrave biljke, izuzev u junu, što je verovatno posledica akumulacije B i Sr u listovima, jer u uslovima stresa

dolazi do brže hidrolize Chl *a* u odnosu na hidrolizu Chl *b*. Sadržaj ukupnih karotenoida je bio viši kod listopadnih vrsta u odnosu na četinarsku, pa je i u ovom slučaju utvrđen gardijent na nivou vrsta: *A. hippocastanum* > *P. acerifolia* > *P. nigra*. U listovima *A. hippocastanum* sadržaj ukupnih karotenoida je takođe bio najviši u avgustu. S obzirom na njihovu fotoprotektivnu i antioksidativnu ulogu, može da se posmatra kao odgovor na stresne uslove u životnoj sredini. Međutim i u ovom slučaju, sadržaj ukupnih karotenoida je zavisio od karakteristika biljne vrste, lokaliteta uzorkovanja i sezonskog preseka.

Morfološki simptomi oštećenja listova su se javljali u vidu vršnih i marginalnih hloroza i nekroza, intravenalnih hloroza i nekroza, promene boje listova, oštećenja izazvanih delovanjem patogena (insekata, gljiva) i preranog sušenja listova. Intenzitet oštećenja je kod svih ispitivanih vrsta bio izraženiji u drugom delu vegetacijske sezone zbog akumulacije oštećenja. Kod *A. hippocastanum* se tokom sezone razvije i do četiri generacije insekta (kestenov moljac *Cameraria ohridella* Deschke et Dimić), koji pravi hodnike “mine” najčešće na adaksijalnoj strani lista, hraneći se palisadnim tkivom pa se tokom vegetacijske sezone razvijaju oštećenja listova koja su najizraženija u avgustu i u septembru kada dolazi do prevremenog sazrevanja i opadanja listova. Pored navedenih oštećenja, javljaju se promene u vidu intervenalnih hloroza, vršnih i marginalnih nekroza koje na kraju sezone rezultiraju sušenjem marginalnih delova lista. Opisane promene se mogu dovesti u vezu sa toksičnim efektima B i Sr, ali i deficitom Cu, Mn i Zn. Sušenje listova *A. hippocastanum* u septembru je uočeno u svim parkovima, ali je najintenzivnije bilo u parku u Beogradu. Slično kao kod *A. hippocastanum*, i kod *P. acerifolia* su na svim staništima, osim u parku u Beogradu u junu utvrđeni morfološki simptomi oštećenja listova u sva tri sezonska preseka pri čemu su izraženiji u drugom delu vegetacijske sezone, ali po intenzitetu manji nego kod *A. hippocastanum*. Najintenzivnija oštećenja u vidu intravenalnih hloroza i nekroza koje zauzimaju veliki deo lisne ploče su detektovana na individuama ove vrste iz parka u Smederevu, i nešto manjeg intenziteta iz parka u Beogradu. Opisani simptomi su karakteristični za toksičnost B, deficit Cu, Mn i Zn, kao i delovanje patogena.

Na četinama *P. nigra* simptomi su se ispoljavali pretežno u vidu vršnih hloroza i nekroza, hloroza u bazalnom delu četina i sušenja starijih četina (dvogodišnjih), pri čemu su najizraženija oštećenja detektovana na ispitivanim individuama iz parka u

Smederevu. Vršne nekroze su karakterističan simptom toksičnosti B kod biljaka, ali mogu ukazivati i na deficit Zn. Bor je izuzetno mobilan element koji brzo stiže do vrhova listova i tu se akumulira izazivajući oštećenja kod monokotiledonih biljaka, a kod dikotiledonih biljaka u marginalnim delovima listova, gde se simptomi toksičnosti B prvo javljaju. Najveći stepen oštećenja je utvrđen na listovima *A. hippocastanum*, zatim *P. acerifolia* i na kraju na četinama *P. nigra*.

Simptomi oštećenja perifernih zaštita listova ispitivanih vrsta su bili specifični za vrstu, i kretali su se od vrlo blagih do intenzivnih. Na mikrografijama lica i naličja četina *P. nigra* se jasno zapaža drugačiji način depozicije atmosferskih čestica u poređenju sa lišćarskim *A. hippocastanum* i *P. acerifolia*. Površina četina je glatka, pa se na njima sporije i teže deponuju čestice, a lakše se spiraju padavinama. Depozicija atmosferskih čestica je veća na naličju nego na licu četina, oštećenja su izraženija u uzorcima iz septembra, dvogodišnje četine imaju veći intenzitet oštećenja i veću količinu deponovanih čestica u odnosu na jednogodišnje, i postoje određene razlike na nivou lokaliteta. Kod dvogodišnjih četina, očekivano je veće oštećenje kutikule i stoma u poređenju sa jednogodišnjim, kao i veća količina deponovanih čestica, a u zoni oko stoma su izraženija oštećenja u uzorcima iz oktobra na svim lokalitetima. Za razliku od četina, listovi lišćarskih vrsta imaju krupne epidermalne ćelije i talasastu kutikulu, ili imaju trihome. Krupne ćelije epidermisa, talasasto naborana struktura kutikularnih voskova na licu i naličju listova. kao i prisustvo glandularnih trihoma duž centralnog nerva (*A. hippocastanum*), ili na celoj površini listova (*P. acerifolia*) obe lišćarske vrste omogućavaju značajno veću depoziciju atmosferskih čestica, ali i deponovanje polenovih zrna biljaka, spora i hifa različitih vrsta gljiva uključujući i patogene vrste i drugog materijala biogenog porekla. Tokom sezone na listovima *A. hippocastanum* se povećavala količina čestica naročito u nedostatku padavina (period jul-septembar), što je uticalo i na formiranje agregata čestica (>30 μm), koji su posebno bili izraženi na uzorcima listova iz Pančeva, Smedereva i Beograda. Za razliku od *A. hippocastanum* na licu lista *P. acerifolia* se deponuje manji broj čestica i njihovih agregata, verovatno zato što dolazi do gubitka trihoma tokom sezone, epidermske ćelije su sitnije, dok je kutikula tanja, manje naborana sa izraženim površinskim strijacijama i izdignutim obodima oko stoma. I u ovom slučaju, primetno je povećanje depozicije tokom sezone do oktobra.

Na osnovu fizioloških, biohemijskih i morfoloških odgovora ispitivanih vrsta može se zaključiti da *P. nigra* pokazuje toleranciju na deficit esencijalnih elemenata Cu, Mn i Zn, bez pojave izraženih simptoma oštećenja. Međutim na fiziološkom nivou, efikasnost fotosinteze četina je bila značajno niža od optimalnih vrednosti, kao i koncentracije hlorofila i ukupnih karotenoida, što ukazuje na veću osetljivost ove vrste na uslove višestrukog stresa koji vladaju u urbanoj sredini. Stoga, ova vrsta nije pogodna za sadnju u urbanim parkovima i u industrijskim zonama.

Vrsta *A. hippocastanum* je uprkos deficitu esencijalnih elemenata Cu, Mn i Zn, i toksičnim koncentracijama B i Sr u listovima, morfološkim oštećenjima izazvanim delovanjem polutanata i patogena održavala optimalnu efikasnost fotosinteze, zahvaljujući povećanju sadržaja Chl *a*, ukupnih hlorofila i karotenoida tokom sezone, posebno tokom letnjeg perioda suše i visokih temperatura. Pored toga, pokazuje potencijal za fitostabilizaciju u zemljištima zagađenim B i Sr ($BCF > 1$ za oba elementa).

Slično kao i *A. hippocastanum*, *P. acerifolia* efikasno održava efikasnost fotosinteze u optimalnom opsegu tokom sezone na gotovo svim staništima, povoljan odnos pigmenata i karotenoida, uprkos toksičnoj koncentraciji Sr, i istovremenom deficitu esencijalnih elemenata Cu, Mn i Zn, ali bez izraženih oštećenja listova. Stoga, *P. acerifolia* predstavlja pogodnu vrstu za biomonitoring zagađenja u urbanim i industrijskim zonama. Slično kao *A. hippocastanum*, pokazuje potencijal za fitostabilizaciju Sr u zemljištima zagađenim ovim elementom ($BCF > 1$).

Iz svega navedenog moguće je zaključiti da drvenaste biljke koje rastu na urbanim staništima predstavljaju značajan resurs za dalja istraživanja kako u smislu potencijala za korišćenje u bioindikaciji i biomonitoringu zagađivanja, tako i u smislu potencijalnog korišćenja u remedijaciji zagađenih urbanih zemljišta, odnosno obnavljanja urbanih staništa degradovanih antropogenim aktivnostima.

8. LITERATURA

Adekayode FO, Olojugba MR (2010). The utilization of wood ash as manure to reduce the use of mineral fertilizer for improved performance of maize (*Zea mays* L.) as measured in the chlorophyll content and grain yield. *Journal of Soil Science and Environmental Management*, **1**:40-45

Adriano DC (2001). Trace elements in terrestrial environments. Springer, New York

Agbaire PO, Esiefarienrhe E (2009). Air pollution tolerance indices (APTI) of some plants around Otorogun gas plant in Delta State, Nigeria. *International Journal of Physical Sciences*, **4**:366-368

Aggarwal A, Sharma I, Tripathi BN, Munjal AK, Baunthiyal M, Sharma V (2011). Metal Toxicity and Photosynthesis. In: Itoh S, Mohanty P, Guruprasad KN (eds). Photosynthesis: Overviews on Recent Progress and Future Perspectives. IK International Publishing House. New Delhi, pp16:229-236

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 the 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**:824-830

Antić M, Jović N, Avdalović V (1982). Pedologija. Naučna knjiga, Beograd

Arunachalam J, Emons H, Krasnodebska B, Mohl C (1996). Sequential extraction studies on homogenized forest soil samples. *Science of the Total Environment*, **181**:147-159

Arnon DI (1949). Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidases in *Beta vulgaris*. *Plant Physiology*, **24**:1-15

Asada K, Endo T, Mano J, Miyake C (1998). Molecular mechanism for relaxation of and protection from light stress. In: Saton K, Murata N (eds). Stress responses of photosynthetic organisms. Elsevier, Amsterdam, pp 37-52

Ashraf A, Bibi I, Niazi NK, Ok YS, Murtaza G, Shahid M, Kunhikrishnan A, Mahmood T (2017). Chromium(VI) sorption efficiency of acid-activated bananapeel over organo-montmorillonite in aqueous solutions. *International Journal of Phytoremediation*, **19(7)**:605-613

Baker DE, Senft JP (1995). Copper. In: Alloway BJ (ed). Heavy metals in soils. London: Blackie Academic and Professional, pp 179-205

Baker NR (2008). Chlorophyll fluorescence: a probe of photosynthesis in vivo. *The Annual Review of Plant Biology*, **59**:89-113

Barber JL, Thomas GO, Kerstiens G, Jones KC (2004). Current issues and uncertainties in the measurement and modelling of air-vegetation exchange and within-plant processing of POPs. *Environment Pollution*, **128**:99-138

Bargagli R (1998). Trace elements in terrestrial plants: an ecophysiological approach to biomonitoring and biorecovery. Springer, Berlin

- Baszynski T (1986): Heavy metals as factors affecting photosynthetic apparatus activity. *Folia Physiology Cytology and Genetics*, **1**:7-27
- Baycu G, Tolunay D, Ozden H, Gunebakan 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
- Beckett KP, Freer-Smith PH, Taylor G (1998). Urban woodlands: their role in reducing the effects of particulate pollution. *Environmental Pollution*, **99**(3):347–360
- Beckett KP, Freer-Smith PH, Taylor G (2000a). Effective tree species for local air quality management. *Journal of Arboriculture*, **26**:12-19
- Beckett KP, Freer-Smith PH, Taylor G (2000b). Particulate pollution capture by urban trees: effect of species and windspeed. *Global Change Biology*, **6**:995-1003
- Beneragama CK, Goto K (2010). Chlorophyll a:b ratio increases under low-light in 'shade tolerant' *Euglena gracilis*. *Tropical Agricultural Research*, **22**(1):12-25
- Berlizov AN, Blum OB, Filby RH, Malyuk IA, Tryshyn VV (2007). Testing applicability of black poplar (*Populus nigra* L.) bark to heavy metal air pollution monitoring in urban and industrial regions. *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, Ryłko E, Żamojć 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 EJ, Kołodziej B (2009). The effect of common dandelion (*Taraxacum officinale* Web.) rhizosphere on heavy metal content and enzymatic activity on soils. *Acta Horticulturae*, **826**:345–350
- Bielińska EJ, Mocek-Płóciniak A (2009). Impact of the ecochemical soil condition on the content of selected heavy metals in vegetables from gardening allotments. *Polish Journal of Environmental Studies*, **19**(5): 895–900
- Bielińska EJ, Kołodziej 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
- Bini C, Wahsha DM, Fontana S, Maleci L (2012). Effects of heavy metals on morphological characteristics of *Taraxacum officinale* Web. growing on mine soils in NE Italy. *Journal of Geochemical Exploration*, **123**:101-108
- Bjorkman O, Demmig B (1987). Photon yield of O₂ evolution and chlorophyll fluorescence characteristics at 77 K among vascular plants of diverse origins. *Planta*, **170**:489-504
- Borgese L, Federici S, Zacco A, Gianoncelli A, Rizzo L, Smith DR, Donna F, Lucchini R, Depero LE, Bontempi E (2013). Metal fractionation in soils and assessment of environmental contamination in Vallecamonica, Italy. *Environmental Science and Pollution Research*, **20**:5067-5075

- Bosko ML, Varrica D, Dongorrá G (2005). Case study: inorganic pollutants associated with particulate matter from an area near a petrochemical plant. *Environmental Research*, **99**:18–30
- Boussac A, Rappaport F, Carrier P, Verbavatz J-M, Gobin R, Kirilovsky D, Rutherford AW, Sugiura M (2004). Biosynthetic $\text{Ca}^{2+}/\text{Sr}^{2+}$ exchange in the photosystem II oxygen-evolving enzyme of *Thermosynechococcus elongatus*. *The Journal of Biological Chemistry*, **279**:22809-22819
- Bradl H (2002). Heavy Metals in the Environment: Origin, Interaction and Remediation. Academic Press, London, p 282
- Brady NC, Weil RR (2008). The nature and properties of soils. Prentice Hall, Upper Saddle River
- Brown P H, Shelp BJ (1997). Boron mobility in plants. *Plant and Soil*, **193**:85-101
- Bruognoli E, Cona A, Lauteri M (1994). Xanthophyll cycle components and capacity for non-radiative energy dissipation in sun and shade leaves of *Ligustrum ovalifolium* exposed to conditions limiting photosynthesis. *Photosynthesis Research*, **41**:451-463
- 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
- Bussler W (1981). Physiological functions and utilization of copper. In: Loneragan JF, Robson AD, Gragam RS (eds). Copper in soils and plants. New York, Academic Press, pp 213-234
- Calfapietra C, Morani A, Sgrigna G, Di Giovanni S, Muzzini V, Pallozzi E, Guidolotti G, Nowak D, Fares S (2015). Removal of ozone by urban and peri-urban forests: evidence from laboratory, field, and modeling Approaches. *Journal of Environment Quality*, **45**(1):224-233
- Camacho-Cristobal JJ, Rexach J, Gonzalez-Fontes A (2008). Boron in plants: deficiency and toxicity. *Journal of Integrative Plant Biology*, **50**(10):1247-1255
- 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 AG, Violante A (2016). Chemical processes affecting the mobility of heavy metals and metalloids in soil environments. *Current Pollution Report*, **2**:15-27
- Carpenter RJ, Hill RS, Jordan GJ (2005). Leaf cuticular morphology links Platanaceae and Proteaceae. *International Journal of Plant Sciences*, **166**:843-855
- Cavanagh JE, Yi Y, Munir K, Lehto N, Robinson B, Gray C, Geretheran G, Jeyakumar J, Thompson-Morrison H, Anderson C (2017). Understanding the influence of soil properties on plant uptake of cadmium in New Zealand agricultural soil. In: Currie LD, Hedley MJ (eds). Science and policy: nutrient management challenges for the next generation. Occasional Report No 30. Fertilizer and Lime Research Centre, Massey University, Palmerston North, New Zealand. pp11
- Cervilla LM, Blasco B, Rios JJ, Rosales MA, Sanchez-Rodriguez E, Rubio-Wilhelmi MM, Romero L, Ruiz JM (2012). Parameters Symptomatic for Boron Toxicity in Leaves of Tomato Plants. *Journal of Botany*, **2012**:1-17

- Chacón N, Dezzio N, Muñoz B, Rodríguez JM (2005). Implications of soil organic carbon and the biogeochemistry of iron and aluminum on soil phosphorus distribution in flooded forests of the lower Orinoco River, Venezuela. *Biogeochemistry*, **73(3)**:555–566
- Chen M, Tang YL, Ao J, Wang D (2012). Effects of strontium on photosynthetic characteristics of oilseed rape seedlings. *Russian Journal of Plant Physiology*, **59(6)**:772-780
- Cheng H, Min L, Chuandong Z, Kuo L, Min P, Aihua Q, Xiaomeng C (2014). Overview of trace metals in the urban soil of 31 metropolises in China. *Journal of Geochemical Exploration*, **139**:31–52
- Cho M, Chardonens AN, Dietz KJ (2003). Differential heavy metal tolerance of *Arabidopsis halleri* and *Arabidopsis thaliana*: a leaf slice test. *New Phytologist*, **158**:287-293
- 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 Soils and Sediments*, **14(3)**:538-548
- Connolly EL, Guerinot ML (2002). Iron stress in plants. *Genome Biology*, **3(8)**
- Craul PJ (1999). Urban soils: application and practices. Wiley and Sons, New York
- 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
- 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
- Ćirković-Ognjanović M, Glavendekić M (2013). Negativan uticaj biotičkih i abiotičkih faktora na divlji kesten (*Aesculus hippocastanum* L.). *Biljni lekar*, **41(6)**:710-719
- Čeburnis D, Steinnes E (2000). Conifer needles as biomonitors of atmospheric heavy metal deposition: comparison with mosses and precipitation role of the canopy. *Atmospheric Environment*, **34**:4265-4271
- Davidson CM, Urquhart GJ, Ajmone-Marsan F, Biasioli M, Costa Duarte A et al. (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
- De Andrade Passos E, Alves JC, dos Santos IS, Alves JPH, Garcia CAB, Costa CS (2010). Assessment of trace metals contamination in estuarine sediments using a sequential extraction technique and principal component analysis. *Microchemical Journal*, **96**:50-57
- De Miguel E, Jimenez de Grado M, Llamas JF, Martin-Dorado A, Mazadiego LF (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 Nicola F, Maisto G, Alfani A (2003). Assessment of nutritional status and trace element contamination of holm oak woodlands through analyses of leaves and surrounding soils. *Science of The Total Environment*, **311(1-3)**:191-203
- Deljanin I, Atanasijević D, Bjelajac A, Aničić Urošević M, Nikolić M, Perić-Grujić M, Ristić M (2016). Chemometrics in biomonitoring: Distribution and correlation of trace elements in tree leaves. *Science of the Total Environment*, **545(546)**:361-371
- Demming-Adams B, Adams WWIII (1992). Photoprotection and other responses of plants to high light stress. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, **43**:599-626
- Dezhban A, Shirvany A, Attarod P, Delshad M, Matinizadeh 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
- Dick WA, Cheng L, Wang P (2000). Soil acid and alkaline phosphatase activity as pH adjustment indicators. *Soil Biology and Biochemistry*, **32**:1915–1919
- Dmuchowski W, Bytnerowicz A (1995). Monitoring environmental pollution in Poland by chemical analysis of Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) needles. *Environmental Pollution*, **87**:84-104
- Dolobovskaya AS (1975). The character of biogenic accumulation of minor elements in forest litter. *Pocvovedenie*, **3(63)**:189–198 (na ruskom jeziku)
- Dragičević 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, p 180
- Dragović S, Mihailović N, Gajić B (2008). Heavy metals in soils: Distribution, relationship with soil characteristics and radionuclides and multivariate assessment of contamination sources. *Chemosphere*, **72**:491-495
- 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
- Droppa M, Masojidek J, Rozsa Z, Wolak A, Horvath LI, Farkas T, Horvath G (1987). Characteristics of Cu deficiency-induced inhibition of photosynthetic electron transport in spinach chloroplasts. *Biochimica et Biophysica Acta*, **891**:75-84
- Dzierzanowski K, Popek R, Gawrońska H, Sæbø A, Gawroński SW (2011). Deposition of particulate matter of different size fractions on leaf surfaces and in waxes of urban forest species. *International Journal of Phytoremediation*, **13(10)**:1037-1046
- 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
- Esmailzadeh J, Ahangar AG (2014). Influence of soil organic matter content on soil physical, chemical and biological properties. *International Journal of Plant, Animal and Environmental Sciences*, **4(4)**:244–255

- Fargašova 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
- Feng-Rui L, Ling-Fen K, Xiao-Qing G, Wei H, Fa-Wang Y, Wen-Long H (2007). Traffic-related heavy metal accumulation in soils and plants in Northwest China. *Soil & Sediment Contamination*, **16**:473–484
- Fergusson JE (1990). The heavy elements: chemistry, environmental impact and health effects. Pergamon Press, Oxford, p 614
- Ferreya RE, Aljaro AU, Ruiz RS, Rojas LP, Oster JD (1997). Behavior of 42 crop species grown in saline soils with high boron concentrations. *Agricultural Water Management*, **34**:111–124
- Fitz WJ, Wenzel WW (2002). Arsenic transformations in the soilrhizosphere-plant system: fundamentals and potential application to phytoremediation. *Journal of Biotechnology*, **99**:259-278
- Fleschin S, Fleschin M, Nhta S, Pavel E, Mageara V (2003). Free radicals mediate protein oxidation in biochemistry. *Romanian Biotechnological Letters*, **5**:479-495
- Foti L, Dubs F, Gignoux J, Lata JC, Lerch TZ, Mathieu J, Nold F, Nunan N, Raynaud X, Abbadie L, Barot S (2017). Trace element concentrations along a gradient of urban pressure in forest and lawn soils of the Paris region (France). *Science of the Total Environment*, **598**:938-948
- Freer-Smith PH, Holloway S, Goodman A (1997). The uptake of particulates by an urban woodland: Site description and particulate composition. *Environmental pollution*, **95(1)**:27-35
- Freer-Smith PH, Beckett KP, Taylor G (2005). Deposition velocities to *Sorbus aria*, *Acer campestre*, *Populus deltoides* × *trichocarpa* ‘Beaupre’, *Pinus nigra* and × *Cupressocyparis leylandii* for coarse, fine and ultra-fine particles in the urban environment. *Environmental Pollution*, **133(1)**:157-167
- Gajić G, Mitrović M, Pavlović P, Stevanović B, Đurđević 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**:1090-1101
- 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 YM, Murzayeva AI (2016). Urban soil contamination. *Procedia Engineering*, **153**:162-166
- Galuszka A (2005). The chemistry of soils, rocks and plant bioindicators in three ecosystems of the Holy Cross Mountains, Poland. *Environmental Monitoring and Assessment*, **110**:55-70
- Giri S, Shrivastava D, Deshmukh K, Dubey P (2013). Effect of air pollution on chlorophyll content of leaves. *Current Agriculture Research*, **1(2)**:93-98

- Goldberg S, Lesch SM, Suarez DL (2000). Predicting boron adsorption by soils using soil chemical parameters in the constant capacitance model. *Soil Science Society of America Journal*, **64**:1356–1363
- Gostin I (2016). Air Pollution Stress and Plant Response. In: Kulshrestha U, Saxena P (eds). *Plant Responses to Air Pollution*. Springer, Singapore, pp 99-117
- 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, Ghariani RHA (2008). Potential health risk assessment for soil heavy metal contamination in the central zone of Belgrade (Serbia). *Journal of the Serbian Chemical Society*, **73(8-9)**:923-934
- Gupta UC (2007). Boron. In: Barker AV, Pilbeam DJ (eds). *Handbook of plant nutrition*. CRC Press, Taylor & Francis Group, LLC, Boca Raton, FL, pp 242-268
- Harrison RM, Tilling R, Romero MSC, Harrard S, Jarvis K (2003). A study of trace metals and polycyclic aromatic hydrocarbons in the roadside environment. *Atmospheric Environment*, **37**:2391-2402
- Hronec O, Vilček J, Toma L, Adamiin P, Huttmanova E (2010). Environmental components quality problem areas in Slovakia. Mendelova univerzita, Brno, p 227
- Hu H, Sparks D (1991). Zinc-deficiency inhibits chlorophyll synthesis and gas exchange in stuart pecan. *Hortscience*, **26**:267-268
- Humphries JM, Stangoulis JCR, Graham RD (2007). Manganese. In: Barker AV, Pilbeam DJ (eds). *Handbook of plant nutrition*. CRC Press, Taylor & Francis Group, LLC, Boca Raton, FL, pp 351-366
- Husted S, Thomsen MU, Mattsson M, Schjoerring JK (2005). Influence of nitrogen and sulphur form on manganese acquisition by barley (*Hordeum vulgare*). *Plant and Soil*, **268**:309–317
- Hutchinson TC, Bozic L, Munoz-Vega G (1986). Responses of five species of conifer seedlings to aluminum stress. *Water, Air & Soil Pollution*, **31**:283-294
- Hwang HJ, Yook SJ, Ahn KH (2011). Experimental investigation of submicron and ultrafine soot particle removal by tree leaves. *Atmospheric Environment*, **45**:6987-6994
- 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 MS, Ahmed MK, Habibullah-Al-Mamun M, Masunaga S (2015). Potential ecological risk of hazardous elements in different land-use urban soils of Bangladesh. *Science of the Total Environment*, **512(513)**:94–102
- Izveštaj o stanju životne sredine za 2012. godinu (2013). Agencija za zaštitu životne sredine. Ministarstvo energetike, razvoja i zaštite životne sredine, Beograd
- Janhäll S (2015). Review on urban vegetation and particle air pollution-deposition and dispersion. *Atmospheric Environment*, **105**:130–137

- Jim CY (1998). Urban soil characteristics and limitations for landscape planting in Hong-Kong. *Landscape and Urban Planning*, **40(4)**:256-249
- Jiménez JJ, Lorenz K, Lal R (2011). Organic carbon and nitrogen in soil particle-size aggregates under dry tropical forests from Guanacaste, Costa Rica — implications for within-site soil organic carbon stabilization. *Catena*, **86**:178–191
- Joshi N, Chauhan A, Joshi PC (2009). Impact of industrial air pollutants on some biochemical parameters and yield in wheat and mustard plants. *Environmentalist*, **29**:398–404
- Joshi PC, Swami A (2009). Air pollution induced changes in the photosynthetic pigments of selected plant species. *Journal of Environmental Biology*, **30**:295-298
- Jovanović B (1985). Dendrologija, IV izmenjeno izdanje. Šumarski fakultet, Univerziteta u Beogradu, p 557
- Jovanović S (1994). Ekološka studija ruderalne flore i vegetacije Beograda. Biološki fakultet Univerziteta u Beogradu, p 222
- Kabata-Pendias A, Pendias H (2001). Trace elements in soils and plants. CRC Press, London
- Kabata-Pendias A, Mukherjee AB (2007). Trace elements from soil to human. Springer Berlin Heidelberg, New York
- Kalinović TS, Šerbula SM, Radojević AA, Kalinović JV, Steharnik MM, Petrović JV (2016). Elder, linden and pine biomonitoring ability of pollution emitted from the copper smelter and the tailings ponds. *Geoderma*, **262**:266-275
- Kampa M, Castanas E (2008). Human health effects of air pollution. *Environmental Pollution*, **151**:362-367
- Kandziora-Ciupa M, Ciepał R, Nadgorska-Socha A, Barczyk G (2016). Accumulation of heavy metals and antioxidant responses in *Pinus sylvestris* L. needles in polluted and non-polluted sites. *Ecotoxicology*, **25**:970-981
- Kenneth E, Pallet KE, Young J (2000). Carotenoids. In: Ruth GA, Hess JL (eds). Antioxidants in higher plants. CRC Press, Boca Raton, Florida, USA, pp 60-81
- 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 TG, Arain MB, Kolachi NF, Baig JA, Afridi HI, Shah AQ (2013). Evaluation of bioavailability and partitioning of aluminum in sediment samples of different ecosystems by modified sequential extraction methods. *CLEAN Soil Air Water*, **41(8)**:808-815
- Kim ND, Fergusson JE (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
- Kimbrough DE, Cohen Y, Winer AM, Creelman L, Mabuni C (1999). A critical assessment of chromium in the environment. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, **29(1)**:1–46

- Kirpichtchikova TA, Manceau A, Spadini L, Panfili F, Marcus MA, Jacquet T (2006). Speciation and solubility of heavy metals in contaminated soil using X-ray microfluorescence, EXAFS spectroscopy, chemical extraction, and thermodynamic modeling. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **70(9)**:2163-2190
- Kloke A, Sauerback DR, Vetter H (1984). The contamination of plants and soils with heavy metals and the transport of metals in terrestrial food chains. In: Nriagu JO (eds). *Changing Metal Cycles and Human Health*. Berlin, Springer-Verlag, Heidelberg, pp 113-141
- Kopsell DE, Kopsell DA (2007). Copper. In: Barker AV, Pilbeam DJ (eds). *Handbook of plant nutrition*. CRC Press, Taylor & Francis Group, LLC, Boca Raton, FL, pp 293-323
- Kord B, Mataji A, Babaie S (2010). Pine (*Pinus Eldarica* Medw.) needles as indicator for heavy metals pollution. *International Journal of Environmental Science and Technology*, **7(1)**:79-84
- Kosiorsek M, Modrzewska B, Wyszowski M (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
- 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 MV (2005). Sources of variation in concentrations of nickel and copper in mountain birch foliage near a nickel-copper smelter at Monchegorsk, north-western Russia: results of long-term monitoring. *Environmental Pollution*, **135**:91-99
- Krämer U, Gollmack D, Kiriazidou G, Dietz KJ (1999). Induction of plants pathogenesis-related proteins by heavy metals. 5th International Conference of the Biogeochemistry of Trace Elements, Vienna, pp 1158–1159
- Krause G, Weis E (1991). Chlorophyll fluorescence and photosynthesis: The basics. *Annual review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, **42**:313-349
- Krupa Z, Baszynski T (1995). Some aspects of heavy metals toxicity towards photosynthetic apparatus-direct and indirect effects on light and dark reactions. *Acta Physiologiae Plantarum*, **17**:177-190
- Kukier U, Sumner ME, Miller WP (1994). Boron released from fly ash and its uptake by corn. *Journal of Environmental Quality*, **23**:596-603
- Küpper H, Šetlík I, Spiller M, Küpper FC, Prášil O (2002). Heavy metal-induced inhibition of photosynthesis: targets of in vivo heavy metal chlorophyll formation. *Journal of Phycology*, **38**: 429–441
- Kuzmanoski MM, Todorović MN, Aničić Urošević MP, Rajšić SF (2014). Heavy metal content of soils in urban parks of Belgrade. *Hemijska industrija*, **68(5)**:643-651
- Lambers H, Chapin FS III, FS, Pons T (1998). *Plant Physiological Ecology*. Springer Berlin, Heidelberg, p 571
- Larcher W (1995). *Physiological Plant Ecology*. Springer Berlin, Heidelberg

- Li Y, Liu J, Kiu Y, Li X (2009). Effects of EDTA on mechanism of lead accumulation in *Typha orientalis* Presl. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, **83**:553-557
- Li ZG, Zhang GS, Liu Y, Wan KY, Zhang RG, Chen F (2013). Soil nutrient assessment for urban ecosystems in Hubei, China. *PLoS ONE*, **8(9)**:e75856
- Lichtenthaler HK, Buschmann C (2001). Chlorophylls and carotenoids – Measurement and characterisation by UV-VIS. In: Current Protocols in Food Analytical Chemistry. John Wiley&Sons, Madison, pF4.3.1-F4.3.8
- Lichtenthaler HK, Rinderle U, Haitz M (1989). Seasonal variations in photosynthetic activity of spruces as determined by chlorophyll fluorescence. *Annals of Forest Science*, **46**:483-489
- Linares JC, Tiscar PA (2010). Climate change impacts and vulnerability of the southern populations of *Pinus nigra* subsp. *salzmannii*. *Tree Physiology*, **30(7)**:795–806
- Linde M, Bengtsson H, Oborn I (2001). Concentrations and pools of heavy metals in urban soils in Stockholm, Sweden. *Water and Soil Pollution*, **1**:83–101
- Loneragan JF (1988). Detection of manganese deficiency and toxicity in plants. In: Graham RD, Hannam RJ, Uren NC (eds). Manganese in soils and plants, 1st edn. Kluwer Academic Publisher, Dordrecht, pp 243–259
- Madejon P, Ciadamidaro L, Maranon T, Murillo JM (2013). Longterm biomonitoring of soil contamination using poplar trees: accumulation of trace elements in leaves and fruits. *International Journal of Phytoremediation*, **15**:602-614
- Madrid L, Diaz-Barrientos E, Madrid F (2002). Distribution of heavy metal contents of urban soils in parks of Seville. *Chemosphere*, **49**:1301-1308
- Manta SD, 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
- Marinho Reis AP, Shepherd T, Nowell G, Cachada A, Duarte AC et al. (2016). Source and pathway analysis of lead and polycyclic aromatic hydrocarbons in Lisbon urban soils. *Science of the Total Environment*, **573**:324-336
- Marjanović M, Vukčević M, Antonović D, Dimitrijević S, Jovanović Đ, Matavulj M, Ristić M (2009). Heavy metals concentration in soils from parks and green areas in Belgrade. *Journal of the Serbian Chemical Society*, **74(6)**:697-706
- Markert BA, Breure AM, Zechmeister HG (2003). Bioindicators and biomonitors. Elsevier, Amsterdam
- 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
- Marschner H (1995). Mineral nutrition of higher plants. Academic, New York
- Martin-Benito D, Del Rio M, Cañellas I (2010). Black pine (*Pinus nigra* Arn.) growth divergence along a latitudinal gradient in Western Mediterranean Mountains. *Annals of Forest Science*, **67**:401
- 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

- Matuš P, 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
- Maxwell K, Johnson GN (2000). Chlorophyll fluorescence – a practical guide. *Journal of Experimental Botany*, **51(345)**:659-668
- McCauley A, Jones C, Jacobsen J (2009). Plant nutrient functions and deficiency and toxicity symptoms. Nutrient Management Module No. 9. A self course from the MSU Extension Service Continuing Education Series. Montana State University, 1-16
- McDonald AG, Bealey WJ, Fowler D, Dragosits U, Skiba U, Smith RI, Donovan RG, Brett HE, Hewitt CN, Nemitz E (2007). Quantifying the effect of urban tree planting on concentrations and depositions of PM10 in two UK conurbations. *Atmospheric Environment*, **41(38)**:8455–8467
- McQuattie CJ, Schier GA (1992). Effect of ozone and aluminium on pitch pine (*Pinus rigida*) seedlings: needle ultrastructure. *Canadian Journal of Forest Research*, **23**:1375-1387
- Mengel K, Kirkby EA (2001). Principles of plant nutrition. Kluwer Academic Publishers, Netherlands, p 849
- Migeon A, Richaud P, Guinet F, Chalot M, Blaudez D. (2009). Metal accumulation by woody species on contaminated sites in the North of France. *Water, Air, Soil Pollution*, **204**:89-101
- Mihailović A, Budinski-Petković Lj, Popov S, Ninkov J, Vasin J, Ralević NM, 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
- Miladinović S, Gavrilović Lj (2012). Ocena ugroženosti i zaštita od poplava bujičnih vodotoka na teritoriji grada Smedereva. Zbornik radova, Geografski fakultet Univerziteta u Beogradu, **60**:155-174
- Miljković Lj, Miladinović S, Stepanović M (2009). Klizišta u Smederevskom Podunavlju. Geografski institut „Jovan Cvijić” SANU, **59(2)**:1-16; 911.2:551.053(497.11)
- Mingorance MD, Rossini Oliva S (2006). Heavy metals content in *N. oleander* leaves as urban pollution assessment. *Environmental Monitoring and Assessment*, **119**:57-68
- 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

- Miyasaka SC, Hue NV, Dunn MA (2007). Aluminum. In: Barker AV, Pilbeam DJ (eds). Handbook of plant nutrition. CRC Press, Taylor & Francis Group, LLC, Boca Raton, FL, pp 439-497
- Mo L, Ma Z, Xu Y, Sun F, Lun X, Liu X et al. (2015). Assessing the capacity of plant species to accumulate particulate matter in Beijing, China. *PLoS ONE*, **10(10)**:0140664
- Morel JL (1997). Bioavailability of trace elements to terrestrial plants. In: Tarradellas J, Bitton G, Rossel D (eds). Soil ecotoxicology, 1st edn. Lewis Publishers, Boca Raton, pp 141–176
- 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 ratio: 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, p 223
- Mysliwa-Kurdziel B, Prasad MNV, Stralka K (2004). Photosynthesis in heavy metal stress plants. In: Prasad MNV (ed). Heavy metal stress in plants, 3rd edn. Springer, Berlin, pp 146-181
- Nabeela F, Murad W, Khan I, Mian IA, 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 RO, Banueolos GS, Paull JG (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
- Nadaska G, Lesny J, Michalik I (2012). Environmental Aspect of Manganese Chemistry. HEJ:ENV-100702-A
- Nagajyoti PC, Lee KD, Sreekanth TVM (2010). Heavy metals, occurrence and toxicity for plants: a review. *Environmental Chemistry Letters*, **8**:199-216
- Nelson DW, Sommers LE (1996). Total carbon, organic carbon, and organic matter. In: Sparks DL (ed). Methods of Soil Analysis, Part 3. SSSA, Madison, pp 961-1010
- Nikolić N, Zorić L, Cvetković I, Pajević S, Borišev M, Orlović S, Pilipović A (2017). Assessment of cadmium tolerance and phytoextraction ability in young *Populus deltoides* L. and *Populus × euramericana* plants through morpho-anatomical and physiological responses to growth in cadmium enriched soil. *Forest*, **10**:635-644
- Oleksyn J, Kloeppel BD, Lukasiewicz S, Karolewski P, Reich PB (2007). Ecophysiology of horse chestnut (*Aesculus hippocastanum* L.) in degraded and restored urban sites. *Polish Journal of Ecology*, **55(2)**:245-260
- Oquist G, Chow WS, Anderson JM (1992). Photoinhibition of photosynthesis represents a mechanism for the long-term regulation of photosynthesis. *Planta*, **186**:450-460
- Ottelé M, Van Bohemen HD, Fraaij AL (2010). Quantifying the deposition of particulate matter on climber vegetation on living walls. *Ecological Engineering*, **36**:154–162

- Ottesen RT, Alexander J, Reidun de Lange (1999). Ground pollution in Bergen—consequences for health and environment. NGU Rapport 1999. Geological Survey of Norway/Trondheim
- Panda SK, Baluska F, Matsumoto H (2009). Aluminum stress signaling in plants. *Plant Signaling & Behavior*, **4(7)**:592-597
- Papadakis IE, Giannakoula A, Therios IN, Bosabalidis AM, Moustakas M, Nastou A (2007). Mn-induced changes in leaf structure and chloroplast ultrastructure of *Citrus volkameriana* (L.) plants. *Journal of Plant Physiology*, **164**:100-103
- Papaioannou AG (2015). Ecological and soil conditions of black pine (*Pinus nigra* Arn.) stands in the area of the Russian Monastery at Mount Athos. *Russian Journal of Ecology* **46(5)**:438-443
- Parzych A, Jonczak J (2013). Content of heavy metals in needles of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in selected pine forests in Slowinski National Park. *Archives of Environmental Protection*, **39(1)**:41-51
- Parzych A, Jonczak J (2014). Pine needles (*Pinus sylvestris* L.) as bioindicators in the assessment of urban environmental contamination with heavy metals. *Journal of Ecological Engineering*, **15(3)**:29–38
- Parzych A, Mochnacky S, Sobisz Z, Kurhaluk N, Pollakova N (2017). Accumulation of heavy metals in needles and bark of Pinus species. *Folia Forestalia Polonica, series A Forestry*, **59(1)**:34–44
- Patterson S (2001). The agronomic benefit of pulp mill boiler wood ash. Doktorska disertacija, Agricultural Biotechnology, University of Lethbridge
- 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. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, doi.org/10.1007/s00244-018-0506-1
- 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, Kostić N, Karadžić B, Mitrović M (2017d). The Soils of Serbia. Springer Netherlands, p 225

- Perelman P, Faggi A, Castro M, Martinez Carretero E (2010). Pollution trends using bark of *Morus alba* in the cities of Buenos Aires and Mendoza (Argentina). *Revista Árvore, Viçosa-MG*, **34(3)**:505-511
- Petrova ST (2011). Biomonitoring study of air pollution with *Betula pendula* Roth., from Plovdiv, Bulgaria. *Ecologia Balkanica*, **3(1)**:1-10
- Piczak K, Leśniewicz A, Żyrnicki W (2003). Metal concentrations in deciduous tree leaves from urban areas in Poland. *Environmental Monitoring and Assessment*, **86**:273-287
- Pouyat RV, Szlavecz K, Yesilonis ID, Groffman PM, Schwarz K (2010). Chemical, physical, and biological characteristics of urban soils. In: Aitkenhead-Peterson J and Volder A (eds). *Urban Ecosystem Ecology: Agronomy Monograph 55*. Madison, WI: American Society of Agronomy Inc, Crop Science Society of America Inc, Soil Science Society of America Inc
- Pregitzer CC, Sonti FN, Hallett AR (2016). Variability in Urban Soils Influences the Health and Growth of Native Tree Seedlings. *Ecological Restoration*, **34(2)**:106-116
- Qin S, Zhao C, Li Y, Zhang Y (2015). Review of coal as a promising source of lithium. *International Journal of Oil, Gas and Coal Technology*, **9(2)**:215-229
- Reid RJ, Hayes JE, Post A, Stagnoulis JCR, Graham RD (2004). A critical analysis of the causes of boron toxicity in plants. *Plant, Cell & Environment*, **25**:1405–1414
- Reimann C, Arnoldussen A, Finne TE, 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
- Riederer M, Schneider G (1990). The effect of the environment on the permeability and composition of citrus leaf cuticles. II. Composition of soluble cuticular lipids and correlation with transport properties. *Planta*, **180**:154-165
- Republički zavod za statistiku RS (2012). Popis stanovništva, domaćinstava i stanova 2011. u Republici Srbiji.
<http://pod2.stat.gov.rs/ObjavljenePublikacije/Popis2011/Nacionalna%20pripadnost>
- Rossini Oliva S, Fernández-Espinosa AJ (2007). Monitoring of heavy metals in topsoils, atmospheric particles and plant leaves to identify possible contamination sources. *Microchemical Journal*, **86**:131–139
- Rossini Oliva S, Mingorance MD (2004). Study of the impact of industrial emission on the vegetation grown around Huelva (South of Spain) City. *Journal of Atmospheric Chemistry*, **49**:291-302
- Rossini Oliva S, Mingorance MD (2006). Assessment of airborne heavy metal pollution by aboveground plant parts. *Chemosphere*, **65**:177-182
- Rucandio MI, Petit-Dominguez MD, Fidalgo-Hijano C, Garcia-Gimenez R (2011). Biomonitoring of chemical elements in an urban environment using arboreal and bush plant species. *Environmental Science and Pollution Research*, **18**:51–63
- Saarenketo T (1998). Electrical properties of water in clay and silty soils. *Journal of Applied Geophysics*, **40**:73-88

- Sæbø A, Popek R, Nawrot B, Hanslin HM, Gawronska H, Gawronski SW (2012). Plant species differences in particulate matter accumulation on leaf surfaces. *Science of the Total Environment*, **427(428)**:347-354
- Sai Kachout S, Ben Mansoura A, Ennajah A, Leclerc JC, Ouerghi Z, Karray Bouraoui N (2015). Effects of metal toxicity on growth and pigment contents of annual halophyte (*A. hortensis* and *A. rosea*). *International Journal of Environmental Research*, **9(2)**:613-620
- Saint-Laurent D, Beaulac-Gervais V, Berthelot JS (2014). Comparison of soil organic carbon and total nitrogen contents in inundated and non-inundated zones in southern Quebec, 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 AJ (2009). Self-organizing feature map (neural networks) as tool to select the best indicator of road traffic pollution (soil, leaves or bark of *Robinia pseudoacacia* L.). *Environmental Pollution*, **157**:2061-2065
- Sanders PF (2003). Ambient level of metals in New Jersey soils. Research Project Summary
- 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
- Scheffer K, Stach W, Vardakis F (1978). Über die Verteilung der Schwermetallen Eisen, Mangan, Kupfer und Zink in Sommergesternpflanzen. *Landwirtsch Forsch*, **156(2)**:326
- Schleppi P, Tobler L, Bucher JB, Wyttenbach A (2000). Multivariate interpretation of the foliar chemical composition of Norway spruce (*Picea abies*). *Plant and Soil*, **219**:251–262
- Schmidt SB, Jensen PE, Husted S (2016). Review: manganese deficiency in plants: the impact on photosystem II. *Trends in Plant Science*, **21(7)**:622–623
- Schulz H, Popp P, Huhn G, Stärk HJ, Schüürmann G (1999). Biomonitoring of airborne inorganic and organic pollutants by means of pine tree barks. I. Temporal and spatial variations. *Science of the Total Environment*, **232**:49-58
- Schuurmann G, Markert B (1998). Ecotoxicology: ecological fundamentals, chemical exposure and biological effects. Wiley, New York
- Sekretarijat za zaštitu životne sredine (2013). Program zaštite životne sredine grada Beograda. Institut Kirilo Savić, Beograd
- Seyyednejad SM, Niknejad M, Koochak H (2011). A review of some different effects of air pollution on plants. *Research Journal of Environmental Science*, **5(4)**:302-309
- Sgrigna G, Sæbø A, Gawronski S, Popek R, Calfapietra C (2015). Particulate matter deposition on *Quercus ilex* leaves in an industrial city of central Italy. *Environmental Pollution*, **197**:187-194

SGRS (1994), Službeni glasnik Republike Srbije (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

Shacklette HT, Erdman JA, Harms TF (1978). Trace elements in plants foodstuffs. In: Oehme FW (eds). Toxicity of Heavy Metals in the Environment, Part I. New York: Marcel Dekker Inc

Shadid M, Dumat C, Aslam M, Pinelli E (2012). Assessment of lead speciation by organic ligands using speciation models. *Chemical Speciation & Bioavailability*, **24(4)**:248-252

Shadid M, Shamshad S, Rafiq M, Khalid S, Bibi I, Niazi NK, Dumat C, Rashid M (2017). Chromium speciation, bioavailability, uptake, toxicity and detoxification in soil-plant system: A review. *Chemosphere*, **178**:513-533

Shahzad B, Tanveer M, Hassan W, Noor Shah A, Ahmad Anjum S, Alam Cheema S, Ali I (2016). Lithium toxicity in plants: Reasons, mechanisms and remediation possibilities - A review. *Plant Physiology and Biochemistry*, **107**:104-115

Shanker AK, Cervantes C, Loza-Tavera H, Avudainayagam S (2005). Review article: chromium toxicity in plants. *Environment International*, **31**:739-753

Sheppard SC, Evenden WG (1988). The assumption of linearity in soil plant concentration ratios: an experimental evaluation. *Journal of Environmental Radioactivity*, **7**:221-247

Simon E, Baranyai E, Braun M, Cserhádi C, Fábíán I, Tóthmérész B (2014). Elemental concentrations in deposited dust on leaves along an urbanization gradient. *Science of the Total Environment*, **490**:514-520

Singh A, Agrawal SB, Rathore D (2005). Amelioration of Indian urban air pollution phytotoxicity in *Beta vulgaris* L. by modifying NPK nutrients. *Environmental Pollution*, **134**:385-395

Singh S, Tripathi DK, Singh S, Sharma S, Dubey NK, Chauhan DK, Vaculik 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 Smederevo (2011). Prostorni plan grada Smederevo 2010-2015-2020. Godina IV, broj 3, knjiga I

Smailagić J, Savović A, Nešić D, Milenković M, Zdravković S (2012). Klimatološka analiza leta 2012. godine za Srbiju. Sezonski bilten. Republika Srbija, Republički hidrometeorološki zavod

Smirnoff N (2005). Ascorbate, tocopherol and carotenoids: metabolism, pathway engineering and functions. In: Smirnoff N (ed). Antioxidants and Reactive Oxygen Species in Plants. Blackwell Publishing, pp 53-87

Sobrado MA (2008). Leaf characteristics and diurnal variation of chlorophyll fluorescence in leaves of the 'Bana' vegetation of the Amazon region. *Photosynthetica*, **46(2)**:202-207

- Stamoulis KC, Assimakopoulos PA, Ioannides KG, Johnson E, Soucacos PN (1999). Strontium-90 concentration measurement in human bones and teeth in Greece. *Science of the Total Environment*, **229**:165-182
- Strateški akcioni plan gradske opštine Obrenovac 2014-2016 (2013). Odeljenje za razvoj Uprave gradske opštine Obrenovac.
- Sutherland RA (2010). BCR-701: a review of 10-years of sequential extraction analyses. *Analytica Chimica Acta*, **680**:10–20
- Šerbula SM, Kalinović TS, Ilić AA, Kalinović JV, Steharnik MM (2013). Assessment of airborne heavy metal pollution using *Pinus* spp. and *Tilia* spp. *Aerosol and Air Quality Research*, **13**:563–573
- Šerbula SM, Radojević AA, Kalinović JV, Kalinović TS (2014). Indication of airborne pollution by birch and spruce in the vicinity of copper smelter. *Environmental Science and Pollution Research*, **21(19)**:11510–11520
- Tallis M, Taylor G, Sinnett D, Freer-Smith P (2011). Estimating the removal of atmospheric particulate pollution by the urban tree canopy of London, under current and future environments. *Landscape and Urban Planning*, **103(2)**:129-138
- Tchounwou PB, Yedjou CG, Patlolla AK, Sutton DJ (2012). Heavy metals toxicity and the environment. *NIH-PA*, **101**:133-164
- Terzaghi E, Wild E, Zacchello G, Cerabolini BEL, Jones KC, Di Guardo A (2013). Forest filter effect: role of leaves in capturing/releasing air particulate matter and its associated PAHs. *Atmospheric Environment*, **74**:378–384
- Tessier A, Cambell PGC, Bisson M (1979). Sequential extraction procedure for the speciation of particulate metals. *Analytical Chemistry*, **51**:844-851
- Tiwari S, Agrawal M, Marshall FM (2006). Evaluation of ambient air pollution impact on carrot plants at a sub urban site using open top chambers. *Environmental Monitoring and Assessment*, **119**:15-30
- 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, 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**:393-401
- 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 AK, Gautam M (2007). Biochemical parameters of plants as indicators of air pollution. *Journal of Environmental Biology*, **28**:127-132
- Tsukada H, Takeda A, Takahashi T, Hasegawa H, Hisamatsu S, Inaba J (2005). Uptake and distribution of ⁹⁰Sr and stable Sr in rice plants. *Journal of Environmental Radioactivity*, **81**:221-231
- Tubby KV, Pérez-Sierra A (2015). Pests and pathogen threats to plane (*Platanus*) in Britain. *Arboricultural Journal*, **37(2)**:85-98

- Tucović A (1973). Genetika sa oplemenjivanjem biljaka. Izdavačko preduzeće Građevinska knjiga, Beograd, p 418
- Turunen M, Huttunen S, Percy KE, McLaughlin CK, Lamppu J (1997). Epicuticular wax of subarctic *Scots pine* needles: response to sulphur and heavy metal deposition. *New Phytologist*, **135**:501-515
- USEPA (United States Environmental Protection Agency) (1994). Method 3051A. Microwave assisted acid digestion of sediments, sludges and oils, in Test methods for evaluating solid waste, SW 846, USEPA, Washington, DC
- 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 Division Staff (1993). Selected chemical properties. In: Soil survey manual. Handbook 18. Washington: Soil Conservation Service, United States Department of Agriculture pp 46-155
- Van Bohemen HD, Van de Laak JWH (2003). The influence of road infrastructure and traffic on soil, water, and air quality. *Environmental Management*, **31**(1):50-68
- Viehweger K (2014). How plants cope with heavy metals. *Botanical Studies*, **55**:35
- Viehweger K, Geipel G (2010). Uranium accumulation and tolerance in *Arabidopsis halleri* under native versus hydroponic conditions. *Environmental and Experimental Botany*, **69**:39-46
- Vorobeva AL, Avdonkin AA (2006). Potential soil acidity: notions and parameters. *Eurasian Soil Science*, **39**(4):377-386
- Vujović Z, Aleksić J, Dragosavljević Z, Adžemović M, Đorđević S, Ninković M, Cvetković D, Aleksić S, Arandžević M, Aleksića D (2013). Revizija lokalnog ekološkog akcionog plana grada Smederevo. Gradska uprava grad Smederevo
- Vukićević E (1996). Dekorativna dendrologija. Šumarski fakultet, Univerziteta u Beogradu, p 585
- Wang AX, Fang YM (2011). Tissue distribution of 6 kinds of transport heavy metal pollutants in *Platanus hispanica* leaves and annual branches. *Plant Research*, **4**:478-488
- Wellburn A (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**:307-355
- 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
- Weryszko-Chmielewska E, Haratym W (2012). Leaf micromorphology of *Aesculus hippocastanum* L. and damage caused by leaf-mining larvae of *Cameraria ohridella* Deschka & Dimić. *Acta Agrobotanica*, **65**(3):25-34

- Wolterbeek HT, Bode P (1995). Strategies in sampling and sample handling in the context of large-scale plant biomonitoring surveys of trace element air pollution. *Science of the Total Environment*, **176**:33-43
- WRB, World Reference Base for Soil Resources (2006). World Soil Resources Reports No. 103. FAO, Rome, Italy
- Wuana RA, Okieimen FE (2011). Heavy metals in contaminated soils: A review of sources, chemistry, risks and best available strategies for remediation. *ISRN Ecology*, 2011:402647
- Yang J, McBride J, Zhou J, Sun Z (2005). The urban forest in Beijing and its role in air pollution reduction. *Urban Forestry and Urban Greening*, **3(2)**:65-78
- Yanqun Z, Yuan L, Schwartz C, Langlade L, Fan L (2004). Accumulation of Pb, Cd, Cu and Zn in plants and hyperaccumulator choice in Lanping lead-zinc mine area, China. *Environment International*, **30**:567-576
- Yesilonis ID, Poyat RV, Neerchal NK (2008). Spatial distribution of metals in soils in Baltimore, Maryland: role of native parent material, proximity to major roads, housing age and screening guidelines. *Environmentall Pollution*, **156(3)**:723-731
- Yuan GL, Sun TH, Han P, Li J, Lang XX (2014). Source identification and ecological risk assessment of heavy metals in topsoil using environmental geochemical mapping: typical urban renewal area in Beijing, China. *Journal of Geochemical Exploration*, **136**:40-67
- Yin X, Sun Z, Struik PC, Van der Putten PE, Van Ieperen W, Harbinson J (2011). Using a biochemical C₄ photosynthesis model and combined gas exchange and chlorophyll fluorescence measurements to estimate bundle-sheath conductance of maize leaves differing in age and nitrogen content. *Plant, Cell and Environment*, **34**:2183-2199
- 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

BIOGRAFIJA

Marija M. Pavlović je rođena u Beogradu 21.03.1986. godine. Diplomirala je 2011. godine na Biološkom fakultetu, Univerzitet u Beogradu, smer Zaštita životne sredine, sa prosečnom ocenom 9.20. Diplomski rad iz oblasti anatomije i morfologije biljaka pod naslovom "Morfologija cveta i razviće ovule kod vrste *Passiflora coccinea*" ocenjen je ocenom 10 (deset).

Prvu godinu doktorskih studija upisala je 2011. godine, na Biološkom fakultetu Univerziteta u Beogradu, smer Ekologija biljaka i fitogeografija.

Marija Pavlović je zaposlena od 01.09.2011. godine kao istraživač-pripravnik na Odeljenju za ekologiju, Instituta za biološka istraživanja "Siniša Stanković". Od zasnivanja radnog odnosa u Institutu za biološka istraživanja "Siniša Stanković", Marija Pavlović je angažovana u realizaciji naučnog projekta osnovnih istraživanja, finansiranog od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije (ON173018) pod nazivom "Ekofiziološke adaptivne strategije biljaka u uslovima multipnog stresa" (2011-2015), pod rukovodstvom dr Pavla Pavlovića. U periodu 2014-2015 godine, bila je angažovana na dva projekta: „Potencijalni rizici od prisustva teških metala, radionuklida i organskih polutanata u zemljištu, vodama i hrani u rubnim delovima Grada Beograda“, Sekretarijat za zaštitu životne sredine Grada Beograda, grant br. B-041 4011-22 i „Ecological Baseline Report for the Timok Gold Project (Estern Serbia), Avala Resources Belgrade, Contract no. 01-484 i 91/13“. Angažovana je na FP7 projektu „GLOBAQUA- Managing the effects of multiple stressors on aquatic ecosystems under water scarcity“ finansiranog od strane Evropske komisije, grant 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 "Pirot", ugovor br. 176/2017-8. Marija Pavlović je autor/koautor 14 radova publikovanih u međunarodnim časopisima iz kategorije M20 i 15 saopštenja na naučnim skupovima od međunarodnog i nacionalnog značaja.