UNIVERZITET U BEOGRADU

BIOLOŠKI FAKULTET

Mr Gordana M. Gajić

EKOFIZIOLOŠKE ADAPTACIJE ODABRANIH VRSTA ZELJASTIH BILJAKA NA DEPONIJI PEPELA TERMOELEKTRANE „NIKOLA TESLA – A“ U OBRENOVCU

doktorska disertacija

Beograd, 2014

UNIVERSITY OF BELGRADE

FACULTY OF BIOLOGY

Mr Gordana M. Gajić

ECOPHYSIOLOGICAL ADAPTATIONS OF SELECTED HERBACEOUS PLANTS GROWING ON THE FLY ASH DEPOSITS OF THERMOELECTRIC PLANT 'NIKOLA TESLA – A' IN OBRENOVAC

Doctoral Dissertation

Belgrade, 2014

MENTORI:

Redovni profesor u penziji *dr Branka Stevanović*, Biološki fakultet Univerzitet u Beogradu

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

ČLANOVI KOMISIJE:

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

Vanredni profesor, *dr Slobodan Jovanović*, Biološki fakultet Univerzitet u Beogradu

Docent *dr Jasmina Šinžar Sekulić*, Biološki fakultet Univerzitet u Beogradu

Datum odbrane:

ZAHVALNICA

Ova doktorska disertacija je uradjena u Odeljenju za ekologiju Instituta za biološka istraživanja „Siniša Stanković“ Univerziteta u Beogradu u okviru projekta pod nazivom „Ekofiziološke adaptivne strategije biljaka u uslovima multipnog stresa“ finansiranog od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije, grant no. 173018, pod rukovodstvom dr Pavla Pavlovića, naučnog savetnika i direktora Instituta za biološka istraživanja „Siniša Stanković“ Univerziteta u Beogradu, a u saradnji sa Katedrom za ekologiju i geografiju biljaka Biološkog fakulteta Univerziteta u Beogradu.

Zahvaljujem se Dr Branki Stevanović, redovnom profesoru u penziji Biološkog fakulteta Univerziteta u Beogradu, mentoru, što me je uvela u čudesan svet nauke i ekologije. Beskrajno hvala na uvek rado pruženoj i nesebičnoj pomoći, kao i dragocenoj iskrenosti i razumevanju u trenucima kada je to bilo najteže i najvažnije. Hvala na znanju i iskustvu koje mi je na jednostavan i interesantan način prenela. Ukazano poverenje i velika vera u mene bili su podsticajni za moj naučni rad tokom svih ovih godina. Čast mi je i privilegija što je ostala uz mene do kraja.

Hvala Dr Miroslavi Mitrović, naučnom savetniku Instituta za biološka istraživanja „Siniša Stanković“ Univerziteta u Beogradu, mentoru, što mi je pružila priliku da budem deo sveta nauke i ekologije. Hvala na izboru teme i korisnim sugestijama tokom finalne izrade ove doktorske disertacije. Takođe, hvala na velikoj motivaciji i interesovanju za ekofiziologiju, u kojoj sam sebe pronašla. Nadam se da su moja iskrenost, požrtvovanost i vera u ono što radim pokazali da i nemoguće postaje moguće.

Zahvalnost dugujem Dr Pavlu Pavlović, naučnom savetniku Instituta za biološka istraživanja „Siniša Stanković“ Univerziteta u Beogradu, na izboru teme, uspešnoj realizaciji terenskih i laboratorijskih istraživanja, korisnim savetima tokom pisanja ove doktorske disertacije, razumevanju i dragocenoj podršci tokom svih ovih godina. Veliko hvala na pozitivnoj energiji, iskustvu i znanju, kao i vremenu posvećenom mom naučnom usavršavanju. Čast mi je, zadovoljstvo i privilegija što sam deo njegovog istraživačkog tima.

Zahvaljujem se Dr Slobodanu Jovanoviću, vanrednom profesoru Biološkog fakulteta Univerziteta u Beogradu, na predusretljivosti i konačnoj realizaciji doktorske disertacije.

Hvala Dr Jasmini Šinžar-Sekulić, docentu Biološkog fakulteta Univerziteta u Beogradu, na razumevanju i angažovanju u finalnoj realizaciji doktorske disertacije.

Posebnu zahvalnost dugujem Dr Loli Djurdjeviću, naučnom savetniku Instituta za biološka istraživanja „Siniša Stanković“ Univerziteta u Beogradu, što mi je otvorio vrata svoje laboratorije i preneo svoje iskustvo i stečeno znanje vezano za rad u laboratoriji. Zahvaljujući sjajnom timskom radu mnoge biohemijske metode videle su svetlost dana. Veliko hvala na ukazanom poverenju, razumevanju i podršci koja nijednog trenutka nije izostala, kao i beskrajnoj veri u mene i moje sposobnosti, a najpre hvala što je sa mnom podelio svoj entuzijazam prema nauci.

Veliko hvala Dr Anki Dinić, naučnom savetniku u penziji Instituta za biološka istraživanja „Siniša Stanković“ Univerziteta u Beogradu, na dragocenoj pomoći pri određivanju fitocenoloških snimaka na deponiji pepela TENT- A u Obrenovcu. Hvala joj što se jedina sa mnom spustila na aktivnu kasetu deponije pepela i podelila nesvakidašnji osećaj kao da smo na drugoj planeti. Pre svega hvala na iskrenosti, pozitivnoj energiji i mnogobrojnim razgovorima o svim pitanjima života i nauke, a koji su doprineli da sve dobije svoj pravi smisao i značenje.

Zahvaljujem se Dr Snežani Jarić, naučnom saradniku Instituta za biološka istraživanja „Siniša Stanković“ Univerziteta u Beogradu, na velikoj pomoći u izradi dela disertacije koji se tiče fitocenološke analize na deponiji pepela TENT- A u Obrenovcu, kao i na ukazanoj podršci i razumevanju tokom svih godina provedenih u Odeljenju za ekologiju.

Hvala Mr Olgi Kostić, istaživaču saradniku Instituta za biološka istraživanja „Siniša Stanković“ Univerziteta u Beogradu, na analizi fizičko – hemijskog sastava pepela i zemljišta, kao i na velikoj pomoći tokom terenskog dela rada na deponiji pepela TENT-A u Obrenovcu, u uslovima koji su često bili na granici ljudske izdržljivosti. Hvala i na prihvatanju moje prevelike energije i želje da ovakav jedan izazov iznesem na način koji je za mene jedino dobar i prihvatljiv.

Dr Tanji Vukov, naučnom saradniku Instituta za biološka istraživanja „Siniša Stanković“ Univerziteta u Beogradu, za nesebično pruženu pomoć u statističkoj obradi podataka.

Dipl. hemičaru Petru Dimitrijeviću (Hemolab) na strpljenju i velikoj pomoći pri određivanju koncentracija hemijskih elemenata na aparatu ICP-OES (Spectro Genesis).

Mr Milošu Bokorovu, iz Centra za elektronsku mikroskopiju na Biološkom fakultetu u Novom Sadu, na uvek rado pruženoj pomoći u izradi SEM (EDS) mikrografija čestica pepela i površinske strukture listova biljaka.

Posebno se zahvaljujem mojim najdražim prijateljima Endzi, Vladi, Tanji, Biki, Lidiji i Daci koji su mi pružili neizmerno mnogo ljubavi, ali i koji su zajedno sa drugim dragim ljudima, širili dobrotu i plemenitost, i time me, kao ljudsko biće učinili bogatijom.

Najviše hvala mojoj porodici, mami Kosari, sestri Mirjani, zetu Michielu i sestriću Milanu, koji su u svakom trenu predstavljali moju sreću, svetlost i snagu. Njihova bezuslovna ljubav i podrška su me učinili jačom.

EKOFIZIOLOŠKE ADAPTACIJE ODABRANIH VRSTA ZELJASTIH BILJAKA NA DEPONIJI PEPELA TERMOELEKTRANE 'NIKOLA TESLA – A' U OBRENOVCU

REZIME

Zasnivanje biljnog pokrivača na odlagalištima pepela obezbeđuje fizičku i hemijsku stabilizaciju pepela, sprečava eroziju vetrom i smanjuje disperziju toksičnih hemijskih elemenata u životnu sredinu. Istraživanja u okviru ove disertacije su obavljena na području deponije pepela termoelektrane 'Nikola Tesla – A' u Obrenovcu i to na pasivnim kasetama (K3 – stara tri godine i K2 – stara jedanaest godina), kao i na kontrolnim staništima (K_{Ko} - nasip reke Kolubare; K_{Bb} – Botanička bašta „Jevremovac“ u Beogradu i K_{Bk} – naselje Bežanijska kosa u Beogradu), a obuhvatala su analize biljaka, kao i supstrata na kojima one rastu. Za ekofiziološka istraživanja bile su odabrane zeljaste biljke koje se obično koriste za biorekultivaciju pepelišta: *Festuca rubra* L. (K3, K2 i K_{Bb}) i *Dactylis glomerata* L. (K3 i K_{Ko}), kao i vrste koje spontano kolonizuju prostor na deponiji pepela: *Calamagrostis epigejos* (L.) Roth. (K3, K2 i K_{Ko}) i *Oenothera biennis* L. (K3, K2 i K_{Bk}). Osnovni cilj doktorske disertacije je utvrđivanje limitirajućih faktora staništa za nesmetani razvoj biljnog pokrivača, kao i ustanovljavanje ekofizioloških adaptivnih strategija ispitivanih biljaka koje opstaju u uslovima višestrukog stresa na deponiji pepela.

Fitocenološka analiza deponije pepela TENT – A u Obrenovcu je pokazala da su na K3 najveću brojnost i pokrovnost imale sejane vrste *F. rubra* i *D. glomerata*, dok su na K2 bile dominantne spontano kolonizovane vrste *C. epigejos* i *O. biennis*. Tokom vremena na K2 se stvaraju povoljni fizičko - hemijski uslovi za rast i opstanak biljaka na pepelu, što se ogleda u smanjenju procenta ukupnog peska, a povećanju frakcije gline i glina+prah, smanjenju koncentracije rastvorljivih soli, slabo bazne reakcije pepela i povećanju kiselih katjona u adsorptivnom kompleksu, što je u velikoj meri uslovljeno aktivnošću biljaka koje su kolonizovale ovu kasetu. Količina dostupnih oblika K_2O je bila najveća na K2, a P_2O_5 na K3, dok je količina N bila generalno mala.

Na deponiji pepela, koncentracije As, B i Cu su bile toksične, (izuzev B na K2), dok su koncentracije Mn i Zn (K2) bile deficitarne. Na deponiji pepela, DTPA – As i DTPA – B, kao i udeo DTPA – dostupnih frakcija u odnosu na ukupan sadržaj ovih

elemenata je bio velik, što ukazuje na potencijalna strukturna i funkcionalna oštećenja biljaka vezana za njihovu toksičnost. Količina DTPA – Cu, DTPA – Mn i DTPA – Zn, kao i udeo DTPA – dostupnih frakcija u odnosu na ukupan sadržaj istih je bio mali, te rastvorna količina koja je dostupna biljkama može biti odgovorna za metabolička oštećenja vezana za njihov deficit.

Na deponiji pepela u listovima ispitivanih biljaka bile su izmerene toksične koncentracije As i B, izuzev B kod *C. epigejos*. Koncentracije Mn i Zn u listovima svih biljaka su bile u deficitu, dok je Cu bio na granici deficita, osim kod *O. biennis*. Sejane vrste *F. rubra* i *D. glomerata* se odlikuju smanjenim kapacitetom transporta As, Cu i Mn iz korenova u listove (BCF<1, TF<1), osim Mn kod *F. rubra* (K3). Međutim, spontano kolonizovane vrste *C. epigejos* i *O. biennis* pokazuju veću sposobnost translokacije As, Cu, Mn iz korena u listove (BCF<1, TF >1). Se se kod *F. rubra* i *O. biennis* (K2) akumulira u korenu (BCF>1, TF<1), dok se kod ostalih vrsta efikasno transportuje u listove (BCF>1, TF>1). Zn se kod svih ispitivanih biljaka na deponiji pepela nalazi u većoj količini u korenu u odnosu na listove (izuzev kod *O. biennis*, K2), dok se B i Mo efikasno transportuju u listove.

Efikasnost fotosinteze kod svih biljaka na deponiji pepela je bila ispod optimalnog opsega, što ukazuje na fotoinhibiciju fotosistema II (PSII) i smanjenu vitalnost. Količina hlorofila i karotenoida je u listovima svih ispitivanih biljaka bila manja u odnosu na kontrolna staništa, dok je količina antocijana u listovima *F. rubra* bila najveća na K3. Količina malondialdehida (MDA) je bila veća u listovima svih ispitivanih biljaka na deponiji pepela, što ukazuje da su one izložene oksidativnom stresu. Količina fenola, askorbinske kiseline (AsA) i ukupna DPPH antioksidativna aktivnost bile su velike kod svih biljaka koje rastu na pepelištu, što ukazuje na sposobnost aktivacije adaptivnih mehanizama zaštite. Na deponiji pepela, vrsta *O. biennis* se najviše razlikuje od ostalih biljaka po većoj količini vezanih fenola (VF) i ukupnoj DPPH antioksidativnoj aktivnosti. Morfološke promene listova biljaka bile su izražene u vidu hloroza i nekroza izazvanih toksičnim sadržajem As i B, kao i deficitarnim koncentracijama Cu, Mn i Zn.

Sejane vrste *F. rubra* i *D. glomerata* su značajne tokom prve faze biološke rekultivacije, jer stabilizuju pepeo dobro razvijenim korenovim sistemom i u uslovima stresa poseduju potencijal aktivacije antioksidativne zaštite. Međutim, tokom vremena spontano kolonizovane vrste *C. epigejos* i *O. biennis* osvajaju prostor deponije pepela,

zahvaljujući dobro razvijenom multirizomskom sistemu, velikoj količini viabilnih semena i ekofiziološkim adaptacijama koje im omogućavaju rast i opstanak u nepovoljnim uslovima sredine, što ih čini pogodnim za revitalizaciju pepelišta.

Ključne reči: deponije pepela; ukupne i DTPA – dostupne frakcije hemijskih elemenata; toksičnost As i B; deficit Cu, Zn i Mn; efikasnost fotosinteze; pigmenti; fenoli; askorbinska kiselina; ukupna DPPH antioksidativna aktivnost; adaptacije

Naučna oblast: Biologija
Uža naučna oblast: Ekofiziologija biljaka
UDK: 581.522.4: [582.776.6 + 582.542.11] : 502.174 : 533 (043.3)

ECOPHYSIOLOGICAL ADAPTATIONS OF SELECTED HERBACEOUS PLANTS GROWING ON THE FLY ASH DEPOSITS OF THERMOELECTRIC PLANT 'NIKOLA TESLA – A' IN OBRENOVAC

ABSTRACT

Establishment of plant cover on fly ash deposits provides the physical and chemical stabilization of ash, prevents wind erosion and reduces dispersion of toxic chemical elements in the environment. Research within this thesis was carried out in the area of the fly ash deposits thermoelectric plant 'Nikola Tesla - A' in Obrenovac: passive cassette (K3 - three years old and K2 - eleven years old), as well as the control sites (K_{Ko} - embankment of the river Kolubara; K_{Bb} - Botanical Gardens "Jevremovac" in Belgrade and K_{BK} - settlement Bežanijska kosa in Belgrade), and included analysis of plants, as well as the substrate on which they grow. For ecophysiological studies were selected herbaceous plants which are commonly used for the biorecultivation on the fly ash: *Festuca rubra* L. (K3, K2 and K_{Bb}) and *Dactylis glomerata* L. (K3 and K_{Ko}), as well as species that spontaneously colonized space in fly ash deposits: *Calamagrostis epigejos* (L.) Roth. (K3, K2 and K_{Ko}) and *Oenothera biennis* L. (K3, K2 and K_{Bk}). The main objective of the doctoral dissertation is to determine the limiting factors of site for the smooth development of the vegetation cover, as well as the establishment of ecophysiological adaptive strategies of examined plants that survive in conditions of multiple stress on the fly ash.

Phytocoenological analysis of the fly ash deposit TENT - A in Obrenovac showed that on the K3, the largest number and coverage had sown species *F. rubra* and *D. glomerata*, while on the K2 were spontaneously colonized dominant species *C. epigejos* and *O. biennis*. Over time, on the K2 to create good physico - chemical conditions for the growth and survival of plants in the fly ashes, which is reflected in the reduction of the percentage of total sand, and increasing fractions of clay and clay + powder, reducing the concentration of soluble salts, weak base reactions of fly ash and increasing acidic cation of the adsorptive complex, which is largely conditioned by the activity of the plants that have colonized this disposal site. The content of available forms of K_2O was the highest on the K2, and P_2O_5 on the K3, while the content of N was generally small. On the fly ash deposit sites, the concentrations of As, B and Cu

were toxic (except B on the K2), while concentrations of Mn and Zn (K2) were in deficiency. On the fly ash deposit sites, DTPA - As and DTPA - B, and the percentage of DTPA - available fraction of the total content of these elements was large, indicating the potentialy structural and functional damage to plants related to their toxicity. The content of DTPA - Cu, DTPA - Mn, DTPA - Zn as well as the percentage of DTPA - the available fraction of Cu, Mn and Zn of the total content was small, and the soluble content which is accessible to the plants may be responsible for the metabolic disorders related to their deficiency.

Thus, on the fly ash deposit sites, toxic concentrations As and B in leaves of examined plants were measured, with the exception of B in *C. epigejos*. The concentrations of Mn and Zn in the leaves of all plants were deficient, while Cu was on the deficiency limit, except for *O. biennis*. Sown species *F. rubra* and *D. glomerata* are characterized by a reduced transport capacity of As, Cu and Mn from roots to leaves (BCF<1, TF<1), except for Mn in *F. rubra* (K3). However, spontaneously colonized species *C. epigejos* and *O. biennis* showed greater ability of translocation of As, Cu and Mn from the roots to the leaves (BCF<1, TF>1). In *F. rubra* and *O. biennis* (K2), Se is accumulated in the roots (BCF>1, TF>1), while in other species, Se is efficiently transported to the leaves (BCF>1, TF>1). In all the species examined at the disposal site, greater amount of Zn is retained in the roots (except in *O. biennis*, K2), while B and Mo are efficiently transported to the leaves.

Photosynthetic efficiency of all plants which grow on fly ash deposits was below the optimum range, which indicates on photoinhibition of photosytem II (PSII) and decreased vitality. The chlorophyll and carotenoids content in leaves of all plants was lower compared to the control site, while the anthocyanins content in leaves of *F. rubra* was the highest on the K3. The malondialdehyde (MDA) content was higher in leaves of all plants at fly ash deposits, indicating that they were exposed to oxidative stress. The phenolics content, ascorbic acid (AsA) and total DPPH antioxidant activity was high in all plants, indicating the ability to activate the protective adaptive mechanisms. Species *O. biennis* is the most different from the other species by the higher content of bound phenolics (BPh) and the total DPPH antioxidant activity. Morphological changes in plant leaves were expressed in the form of chlorosis and necrosis caused by toxic levels of As and B, as well as deficient concentrations of Cu, Mn and Zn.

Sown species *F. rubra* and *D. glomerata* are important in the first stage of biological cultivation, because their well-developed root system stabilizes the substrate. Furthermore, under conditions of stress they have the potential to activate antioxidant protection. However, over time, spontaneously colonized species *C. epigejos* and *O. biennis* have conquered the area of fly ash. This was made possible by their well-developed multirhizome system, large amount of viable seeds and ecophysiological adaptations that enable them to grow and survive in adverse environmental conditions. These traits make them suitable for the revitalization of fly ash .

Key words: fly ash deposits; total and DTPA - available fractions of chemical elements; toxicity of As and B; deficiency of Cu, Zn and Mn; photosynthetic eficiency; pigments; phenolics; ascorbic acid; total DPPH antioxidant activity; adaptations

Scientific field: Biology
Special topic: Plant Ecophysiology
UDC number: 581.522.4: [582.776.6 + 582.542.11] : 502.174 : 533 (043.3)

SADRŽAJ

1. UVOD.....1
2. ISTRAŽIVANO PODRUČJE TERMOELEKTRANE 'NIKOLA TESLA - A' (TENT – A) U OBRENOVCU 15
2.1. Opšte karakteristike TENT – A u Obrenovcu..... 15
2.2. Mere zaštite na deponiji TENT – A u Obrenovcu.....19
3. MATERIJAL I METODE 25
3.1. Ispitivana staništa.....25
3.2. Uzorkovanje zemljišta, pepela i biljnog materijala.....27
3.3. Fitocenološka analiza 27
3.4. Fizičko – hemijska analiza pepela i zemljišta 28
3.5. Analiza hemijskih elemenata u pepelu, zemljištu i biljnom materijalu 29
3.6. Analiza fizioloških i biohemijskih parametara biljaka 30
3.7. Analiza morfoloških karakteristika listova biljaka 32
3.8. Statistička analiza 33
4. OPŠTE KARAKTERISTIKE ISPITIVANIH BILJAKA 34
4.1. *Calamagrostis epigejos* (L.) Roth. 34
4.2. *Festuca rubra* L.....35
4.3. *Dactylis glomerata* L.....37
4.4. *Oenothera biennis* L. 38
5. REZULTATI 41
5.1. Fitocenološka istraživanja deponije pepela TENT–A u Obrenovcu.....41
5.1.1. Fitocenološke karakteristike ispitivanih biljaka na deponiji pepela TENT–A u Obrenovcu 47
5.2. Fizičko – hemijske karakteristike pepela i zemljišta 48
5.2.1. Fizičke karakteristike pepela i zemljišta 48
5.2.2. Hemijske karakteristike pepela i zemljišta 52
5.2.3. SEM analiza čestica pepela 57
5.3. Sadržaj ukupnih i DTPA – dostupnih frakcija hemijskih elemenata u pepelu i zemljištu 61
5.3.1. Sezonska dinamika ukupnog sadržaja hemijskih elemenata u pepelu i zemljištu.....61
5.3.2. Sezonska dinamika sadržaja DTPA – dostupnih frakcija hemijskih elemenata u pepelu i zemljištu 74
5.3.3. Prosečan godišnji sadržaj ukupnih i DTPA – dostupnih frakcija hemijskih elemenata u pepelu i zemljištu 89
5.4. Sadržaj hemijskih elemenata u korenu i listovima ispitivanih biljaka 99
5.4.1. Sezonska dinamika sadržaja hemijskih elemenata u korenu

ispitivanih biljaka 99
5.4.2. Sezonska dinamika sadržaja hemijskih elemenata u listovima ispitivanih biljaka.....118
5.4.3. Sezonska dinamika biokoncentracionog faktora (BCF) i translokacionog faktora (TF) ispitivanih biljaka.....138
5.4.4. Prosečan godišnji sadržaj hemijskih elemenata u korenu i listovima, BCF i TF ispitivanih biljaka.....145
5.5. Kinetika fluorescencije hlorofila i sadržaj pigmenata u listovima ispitivanih biljaka 160
5.5.1. Sezonska dinamika kinetike fluorescencije hlorofila ispitivanih biljaka 160
5.5.2. Prosečna godišnja kinetika fluorescencije hlorofila ispitivanih biljaka.....176
5.5.3. Sezonska dinamika sadržaja pigmenata u listovima ispitivanih biljaka 180
5.5.4. Prosečan godišnji sadržaj pigmenata u listovima ispitivanih biljaka.....193
5.6. Sadržaj malondialdehida (MDA) u listovima ispitivanih biljaka 200
5.6.1. Sezonska dinamika sadržaja malondialdehida **(**MDA) u listovima ispitivanih biljaka.....200
5.6.2. Prosečan godišnji sadržaj malondialdehida **(**MDA) u listovima ispitivanih biljaka.....205
5.7. Komponente antioksidativnog sistema u listovima ispitivanih biljaka 208
5.7.1. Sezonska dinamika sadržaja fenola u listovima ispitivanih biljaka..208
5.7.2. Prosečan godišnji sadržaj fenola u listovima ispitivanih biljaka.....216
5.7.3. Sezonska dinamika sadržaja askorbinske kiseline (AsA) u listovima ispitivanih biljaka 220
5.7.4. Prosečan godišnji sadržaj askorbinske kiseline (AsA) u listovima ispitivanih biljaka.....225
5.7.5. Sezonska dinamike ukupne DPPH antioksidativne aktivnosti u listovima ispitivanih biljaka 228
5.7.6. Prosečan godišnja ukupna DPPH antioksidativna aktivnost u listovima ispitivanih biljaka.....233
5.8. Ukupan biohemijski odgovor listova ispitivanih biljaka na stres.....236
5.9. Morfološke karakteristike listova ispitivanih biljaka 245
5.9.1. Morfološke karakteristike i simptomi oštećenja listova biljaka.....245
5.9.2. Struktura periferijske zaštite listova biljaka i SEM (EDS) analiza deponovanih čestica.....256
6. DISKUSIJA 266
6.1. Fitocenološka istraživanja deponije pepela TENT – A u Obrenovcu..... 266

6.1.1. Fitocenološke karakteristike ispitivanih biljaka na deponiji pepela.268
6.2. Fizičko – hemijske karakteristike pepela i zemljišta 270
6.2.1. Fizičke karakteristike pepela i zemljišta 270
6.2.2. Hemijske karakteristike pepela i zemljišta 271
6.2.3. SEM analiza čestica pepela 276
6.3. Ukupan i DTPA – dostupan sadržaj hemijskih elemenata u pepelu i zemljištu.....277
6.4. Sadržaj hemijskih elemanata u korenu i listovima ispitivanih biljaka 291
6.5. Kinetika fluorescencije hlorofila i sadržaj pigmenata u listovima ispitivanih biljaka.....311
6.5.1. Kinetika fluorescencije hlorofila biljaka 311
6.5.2. Sadržaj pigmenata u listovima biljaka 317
6.6. Sadržaj malondialdehida (MDA) u listovima ispitivanih biljaka.....324
6.7. Komponente antioksidativnog sistema u listovima ispitivanih biljaka 328
6.7.1. Sadržaj fenola u listovima biljaka 328
6.7.2. Sadržaj askorbinske kiseline (AsA) u listovima biljaka 332
6.7.3. Ukupna DPPH antioksidativna aktivnost u listovima biljaka 336
6.8. Ukupan biohemijski odgovor listova ispitivanih biljaka na stres.....340
6.9. Morfološke karakteristike listova ispitivanih biljaka 343
6.9.1. Morfološki simptomi oštećenja listova biljaka 343
6.9.2. Struktura periferijske zaštite listova biljaka i SEM (EDS) analiza deponovanih čestica 345
7. ZAKLJUČCI 349
8. LITERATURA 357

1. UVOD

Glavni izvori zagađivanja vode, vazduha i zemljišta su industrijska postrojenja, saobraćaj i deponije otpadnih materijala. Proizvodnja električne energije u termoelektranama širom sveta sagorevanjem različitih vrsta uglja (lignit, bituminozni i sub-bituminozni, i antracit) za rezultat ima produkciju orgomnih količina produkata sagorevanja, pre svega pepela. Svetska produkcija tako nastalog pepela na godišnjem nivou se procenjuje na 550 Mt, od toga 55.5 Mt nastaje u zemljama Evropske Unije, 98 Mt u Americi, 100 Mt u Kini i 90 Mt u Indiji (ACCA, 2001).

Približno 30% proizvedenog pepela se najčešće iskoristi u industriji građevinskog materijala (proizvodnji cementa, betona, cigli, veziva za zidanje i malterisanje), povoljan je za izgradnju saobraćajnica (puteva i autoputeva) i drugih infrastrukturnih sistema (nasipa, brana i rovova), ali takođe, ima značajnu primenu i u poljoprivredi (amelioraciji zemljišta u cilju poboljšanja produkcije useva). Procenat upotrebe pepela varira u različitim zemljama sveta, od 85% u Nemačkoj do 32% u Americi, 25% u Kini i 15% u Indiji (Heidrich et al., 2013). U Srbiji se iskoristi 2% pepela, pre svega u industriji cementa (Životić et al., 2010).

Sadržaj i količina hemijskih elemenata u uglju zavise od geoloških, geohemijskih i bioloških uslova pod kojima se taložila organska supstanca, odnosno od dijagenetskih procesa, mineralizacije, klimatskih promena i biljnog materijala iz koga je ugalj nastao (Popović, 2002). Tako, mineraloške, fizičke i hemijske karakteristike pepela nastalog sagorevanjem uglja zavise od tipa, hemijskog sastava i pH uglja, temperature sagorevanja, opreme za prečišćavanje dimnog gasa, sistema za otpepeljavanje, sistema transporta, atmosferskih uslova. Mineralna frakcija uglja tokom i nakon sagorevanja podleže procesima, kao što su: topljenje, dekompozicija, isparljivost, fuzija, aglomeracija i kondezacija (Jones, 1995). Jedinjenja Hg, F, Tl i Sb isparavaju na temperaturama nižim od 150°C, dok As, Se, Cl i Te isparavaju na temperaturama od 150 - 450°C, a Zn, Ba, Cu, Co, Pb, Mn, Ni, Cr, Cd, V, Sn na temperaturama od 450 – 700°C (Cowherd et al., 1975). Deo frakcija elemenata čija su jedinjenja najisparljivija odlazi u atmosferu u sastavu dima, a deo koji ispari pri visokim temperaturama u ložištu kondezuje se na česticama prisutnog pepela. Procesi isparavanja i kondezacije pri sagorevanju uglja dovode do neravnomerne raspodele nekih elemenata u česticama

pepela različite veličine, te se koncentracije elemenata povećavaju sa smanjivanjem veličine čestica (Kaakinen et al., 1975; Klein et al., 1975; Goodarzi, 2006; Goodarzi and Sanei, 2009). Isparljivi elementi, poput As, B, Hg, Cl, Cr, Se, Cd, Cu, Mo, Sb i Zn se nakon hlađenja kondezuju na površini sitnih čestica pepela u velikoj količini, formirajući jedinjenja koja se relativno lako rastvaraju (Querol et al., 1995; Izquierdo and Querol, 2012), dok se Ba, Co, Cr, Mn, Ni i Pb raspoređuju između površine i unutrašnjeg matriksa čestica, te nisu direktno izloženi rastvaranju i sporo se oslobađaju (Jones, 1995; Kukier et al., 2003). U pepelu, mikroelementi više potiču od neorganskih, mineralnih komponenti, a manje od organskih, te je tako Si snažnije asociran sa organskom komponentom pepela, dok su Mg, Mn, Ni, Cu i Zn nešto slabije, Al, K, Fe i Cl još slabije, a minimalno vezani su As, Cd, Pb i Cr (Popović, 2002).

Generalno, leteći pepeo predstavlja heterogenu amorfnu mešavinu fero-alumo-silikata nastalu sagorevanjem uglja na temperaturama od 400-1500°C (Mattigod et al., 1990; Vassilev and Vassileva, 2005). Veličina čestica pepela se kreće od 0.01 do 100 μm, sa prosečnim dijametrom < 10 μm (Vassilev and Vassileva, 2005). Čestice pepela imaju malu specifičnu masu i malu zapreminsku masu u zbijenom i rastresitom stanju, čime se može objasniti njihova velika podložnost erozionim uticajima i lako raznošenje vetrom. Pepeo se karakteriše niskim sadržajem ukupnog N, koji podleže oksidaciji tokom procesa sagorevanja. U hemijskom sastavu ima 90-99% Si, Al, Fe, Ca, Mg, Na i K, koji čine glavni matriks čestica pepela (El – Mogazi et al., 1988). U svom sastavu, pepeo sadrži mnoge toksične elemente (As, B, Se, Cu, Zn, Mn, Cd, Cr, Ni, Pb, Mo), kao i policiklične aromatične ugljovodonike (PAHs), polihlorovane dibenzo dioksine (PCDDs) i polihlorovane dibenzo furane (PCDFs) (Jala and Goyal, 2006).

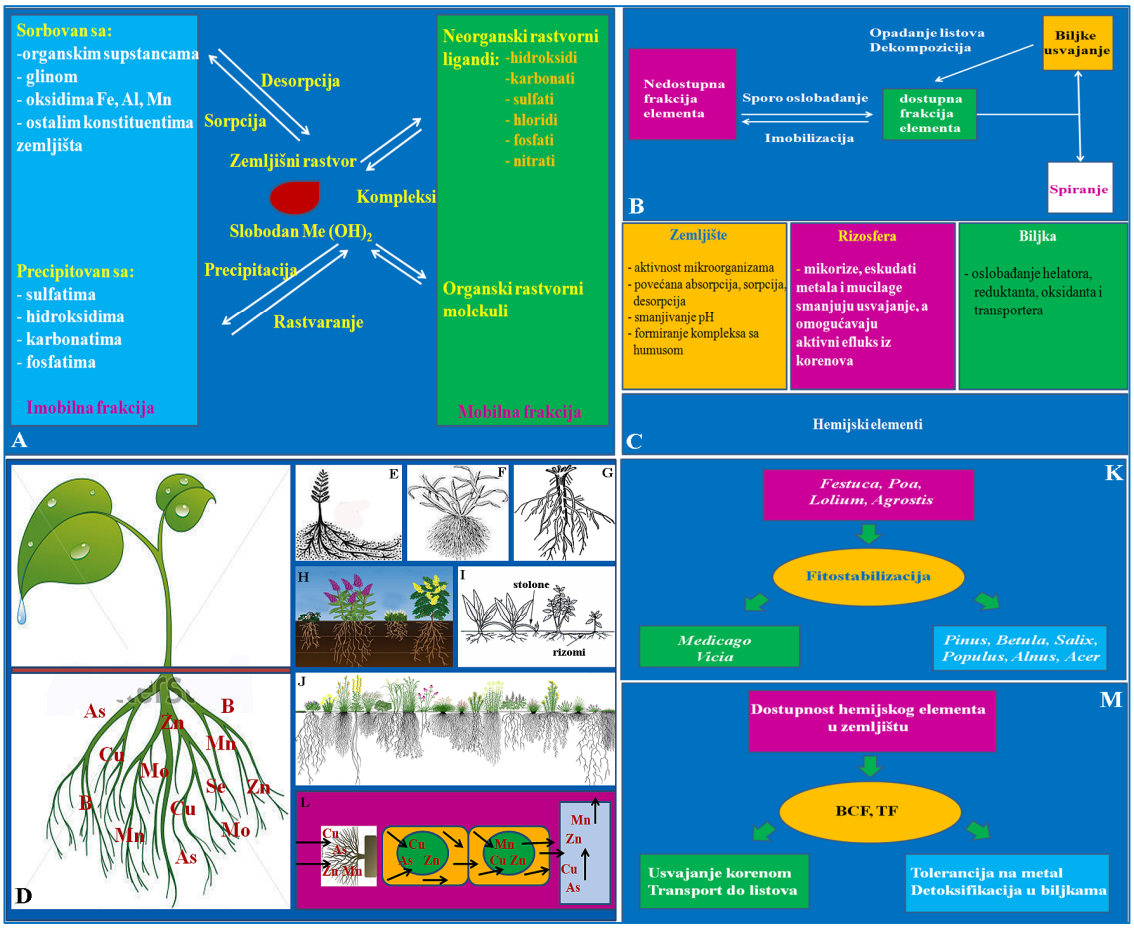
Nakon sagorevanja uglja, pepeo se može odlagati suvim ili vlažnim putem. Pri suvom odlaganju, pepeo se odlaže u napuštene rudokope ili delove rudnika. Pri vlažnom odlaganju, pepeo se deponuje u morske ili okeanske dubine (1500-2000m) nedaleko od obale (Izrael, Kress et al., 1993; Hongkonški zaliv, Wigmore and Kubrycht, 1990). Međutim, najveći udeo pepela, oko 70-75%, se odlaže vlažnim putem na deponije najčešće formirane na okolnom zemljištu, u posebno napravljenim lagunama, i to tako što se meša sa vodom u odnosu 1:10 ili manje i putem transportnih cevi prenosi do deponija (Srbija, Pavlović et al., 2004). Suvi pepeo odložen na otvorenim površinama deponija koje nisu pokrivene vegetacijom predstavlja rizik po životnu sredinu i zdravlje

ljudi jer se fine čestice pepela lako podižu, prenose vazdušnim strujanjima i rasipaju po naseljima i poljoprivrednim površinama (Dželetović and Filipović, 1995; Haynes, 2009). Takođe, na deponijama pepela dolazi do spiranja soli i teških metala u zemljište i podzemne vode, što dovodi do zagađenja zemljišta, površinskih i podzemnih voda, i degradacije poljoprivrednog zemljišta u okolini deponije (Popović, 2002; Tsadilas et al., 2006).

Rastvaranje i mobilizacija elemenata u pepelu i njihova dostupnost biljkama zavisi od njihove koncentracije u pepelu, jonske razmene, redoks potencijala, procesa sorpcije / desorpcije, taloženja / rastvaranja, pH (Izquierdo and Querol, 2012), kao i od prisustva Al, Fe i Si oksida, prisustva organske supstance, teksture zemljišta i klimatskih uslova (Popović, 2002). Generalno, elementi poput As, B, Mo, Se, Cr, Sb i V pokazuju maksimum mobilnosti i rastvorljivosti na pH pepela od 7-10, dok Cu, Zn, Mn, Be, Cd, Co, Fe, Mg, Ni, Pb, Si, Sn, Tl i U pokazuju najveću rastvorljivost sa smanjivanjem pH vrednosti pepela (Izquierdo and Querol, 2012). Ukoliko je element vezan za organsku supstancu, česticama gline, Fe, Al i Mn oksidima ili istaložen sa sulfatima, karbonatima, fosfatima i hidroksidima, utoliko lakše formira imobilnu frakciju elementa, koja nije dostupna biljkama (Sekhar and Prasad, 2006) (Slika 1 A, B). Međutim, ako element u zemljišnom rastvoru formira komplekse sa neorganski rastvornim ligandima ili organski rastvornim molekulima stvara se mobilna frakcija, koju biljke mogu da usvoje korenom i transportuju u nadzemne organe (Slika 1 A, B). Generalno, forme elemenata rastvorljive u vodi kao i elementi koji su vezani za organsku supstancu se smatraju lako dostupnim biljkama (Wang et al., 2004).

Biljke mogu da modifikuju dostupnost elemenata u zemljištu, naročito u rizosferi, kroz promenu pH i / ili produkciju eksudata ili delovanjem mikroorganizama i mikoriznih gljiva (Adriano, 2001; Adriano et al., 2004) (Slika 1 C). Tako, biljke pri niskim koncentracijama pojedinih jona mogu iz korenova u rizosferu da izlučuju H^+ koji stimuluše desorpciju katjona metala iz čvrstih kompleksa zemljišnih čestica povećavajući količinu rastvorenog metala (Crowley et al., 1991). U rizosferi, mikroorganizmi mogu da stimulišu rast korenova, kao i da povećaju potencijal biljke za usvajanje vode i nutrijenata, a ponekad mogu i da izlučuju organska jedinjenja koja povećavaju dostupnost pojedinih elemenata (Fe^{2+} i Mn^{2+}) i olakšavaju njihovu absorpciju putem korena (Pilon – Smits, 2005; Prasad, 2006). Eksudati korenova imaju

važnu ulogu u oslobađanju elemenata u rizosferi, pri čemu se povećava njihovo usvajanje putem korena (siderofore – mugene kiseline). Usvajanje toksičnih metala putem korena se može sprečiti stvaranjem kompleksa metal - helata (organske kiseline, fenoli) (Prasad, 2006).



Slika 1. Frakcije hemijskih elemenata u sistemu zemljište – voda (A); dostupne frakcije elemenata u zemljištu (B); Sistem zemljište – rizosfera – biljka (C); usvajanje hemijskih elemenata korenom (D); korenov sistem biljaka (E – I); formiranje vegetacijskog pokrivača na nekom supstratu (J); pogodne biljne vrste za fitostabilizaciju supstrata (K); usvajanje rastvorenog jona hemijskog elemenata korenom, njegov unutarćelijski transport, akumulacija i tolerancija biljaka, BCF – biokoncentracioni faktor, TF – translokacioni faktor (L, M) (šematski model prema Sekhar and Prasad, 2006; Prasad, 2006).

Mikorizne gljive mogu da povećaju usvajanje esencijalnih metala kada su koncentracije u zemljišnom rastvoru niske ili da smanje njihovo usvajanje kada su koncentracije toksične, a takođe povećavaju toleranciju biljaka na salinitet, sušu i

visoku pH vrednost zemljišta (Chavez et al., 2006). Veoma je važna uloga mikoriza u redukciji usvajanja As i njegove translokacije do listova i to tako što smanjuju aktivnost transportnog sistema fosfat / arsenat preko plazma membrane ili povećavaju efluks As iz korena (Chavez et al., 2006).

Ideja korišćenja biljaka za revitalizaciju degradovanih staništa datira iz `80 (Utsunamyia, 1980; Chaney, 1983) i početkom `90 godina prošlog veka (Baker et al., 1991; Carlson and Adriano, 1993). Poslednjih decenija su istraživanja usmerena na proučavanje kompleksnih interakcija između klimatskih faktora, karakteristika supstrata i selekcije biljnih vrsta (Lasat, 2000; Pavlović et al., 2004; Pilon-Smits, 2005; Đurđević et al., 2006; Pavlović et al., 2007; Mitrović et al., 2008; Maiti and Jaiswal, 2008; Pandey and Singh, 2011; Kostić et al. 2012, Pandey, 2012; Pavlović and Mitrović, 2013; Gajić et al., 2013; Randjelović et al., 2014).

Hemijski, fizički i mikrobiološki faktori koji limitiraju rast biljaka na pepelištu su: a) nedostatak esencijalnih nutrijenata, kao što su N i P ; b) pH vrednosti pepela; c) visoke koncentracija rastvornih soli; d) formiranje kompaktnog i/ili cementnog sloja pepela koji onemogućava rast korenova; e) smanjena mikrobiološka aktivnost, odnosno smanjen broj slobodno živećih i simbiotskih mikroorganizama koji fiksiraju N_2 (*Rhizobium* inokulacija) i prisustvo mikoriza (Hodgson and Townsend, 1973; Adriano et al., 1980; El-Mogazi et al., 1988; Dosskey and Adriano, 1993; Carlson and Adriano, 1993; Gupta et al., 2002; Pavlović et al., 2004; Pandey and Singh, 2011; Pavlović and Mitrović, 2013).

Zasnivanje biljnog pokrivača na deponijama pepela se vrši da bi se postigla stabilizacija pepela, sprečila erozija vetrom, smanjila mobilnost, toksičnost i disperzija toksičnih elemenata u životnu sredinu, kao i obezbedile organske supstance koje mogu da vežu kontaminante (Pavlović et al., 2004; Đurđević et al., 2006; Pavlović et al., 2007; Mitrović et al., 2008; Haynes, 2009; Kostić et al. 2012, Pavlović and Mitrović, 2013; Gajić et al., 2013). Efikasna biološka rekultivacija deponija pepela se postiže sejanjem mešavine trava i leguminoza, i sađenjem žbunastih i drvenastih vrsta biljaka (Dražić, 1993; Dražić et al., 1997; Tripathi et al., 2004; Pavlović et al., 2004; Kisić et al., 2005; Cokić et al., 2005; Mitrović et al., 2008; Kostić et al., 2012; Gajić et al., 2013). Često su na odlagalištima pepela prisutne biljke koje su spontano kolonizovale ovaj prostor (Pavlović et al., 2004; Maiti and Nandhini, 2006; Mitrović et al., 2008), što

ukazuje da takve vrste poseduju visoku sposobnost tolerancije na toksičnost i / ili deficit pojedinih hemijskih elemenata u pepelu (Pilon-Smits, 2005; Doren et al., 2009b; Kostić et al., 2012; Pandey, 2012; Gajić et al., 2013). Tokom vremena sejane, sađene i spontano kolonizovane vrste biljaka vezuju mobilni supstrat gustim korenovim sistemom, šire se i rasprostiru semenima, rizomima i stolonama, formirajući gust vegetacijski pokrivač (Slika 1 D - J). Istovremeno, ove biljke poboljšavaju fizičko-hemijski sastav pepela, stvarajući uslove za naseljavanje drugih vrsta i njihov opstanak na pepelu.

Povoljna kombinacija trava (vrste iz rodova *Festuca, Poa, Lolium* i *Agrostis*), leguminoza (vrste iz rodova *Medicago* i *Vicia*) i drveća (vrste iz rodova *Populus, Pinus, Betula, Picea, Alnus* i *Acer*) obezbeđuje dobru fitostabilizaciju supstrata (Prasad, 2006; Slika 1 K). Istraživanja Hodgson and Townsend (1973) su pokazala da su sledeće vrste tolerantne na nepovoljne uslove pepelišta su: *Melilotus, Medicago sativa, Trifolium repens, Trifolium pratense, Onobrychis sativa, Oryza sativa, Triticum* sp., *Lolium perenne* i *Festuca rubra.* Eksperimenti Mulhern et al. (1989) su pokazali da zeljaste vrste, poput *Agropyron* sp., *Festuca* sp. i *Melilotus* sp. rastu bolje na pepelištu nego drvenaste vrste. Shaw (1996) je na deponijima pepela poreklom iz termoelektrana u Engleskoj zabeležio veliki broj zeljastih vrsta biljaka: *Atriplex prostrata*, *Chenopodium rubrum, Trifolium repens*, *Lotus corniculatus*, *Oenothera biennis*, *Festuca rubra, Tussilago farfara, Vicia sativa, Melilotus officinalis, Cirsium arvense, Dactylis glomerata, Agrostis stolonifera, Achillea millefolium, Arrenatherrum elatius, Epilobium hirsitum, Picris echiooides, Plantago lanceolata, Lycopus europaeus, Reseda lutea, Rorippa sylvestris, Rumex obtusifolia, Senecio vulgaris, Sonchus oleraceus, Suaeda maritima, Dactylorhiza sp*. i dr. Rezultati istraživanja u Indiji potvrđuju da brojne zeljaste vrste spontano kolonizuju prostor deponija pepela: *Cynodon dactylon, Typha latifolia, Amaranthus deflexus, Saccharum spontaenum, Ipomea carnea, Calotropis procera, Cassia tora, Chenopodium album, Sida cardifolia, Blumea lacera* i *Fimbristylis dichotoma* (Gupta and Sinha, 2008; Maiti and Jaiswal, 2008; Pandey et al., 2009; Pandey, 2012). Na deponiji pepela TENT – A u Obrenovcu (Srbija) najbrojnije su bile sledeće zeljaste vrste: sejane *Festuca rubra* i spontano naseljene *Crepis setosa, Calamagrostis epigejos, Erigeron canadensis, Cirsium arvense, Xanthium italicum, Verbascum phlomoides* i *Eupatorium canabinum*, kao i mnoge mahovine (Dražić et al.,

1997; Pavlović et al., 2004; Đurđević et al., 2006; Mitrović et al., 2008; Vukojević et al., 2005), dok su na deponiji pepela termoelektrane 'Kostolac' (Srbija) bile dominantne sledeće spontano naseljene zeljaste biljke: *Chenopodium album, Polygonum aviculare, Tussilago farfara, Phragmites communis, Calamagrostis epigejos, Daucus carota, Trifoilum repens, Cirsium arvense* (Đorđević-Miloradović, 1998). Rezultati brojnih istraživača su pokazali da su pojedine zeljaste biljke pogodne za fitostabilizaciju zemljišta kontaminiranim As (*Piricum sativum*, Jonnalagadda and Nenzou, 1997; *Viola* sp., Stevanović et al., 2010), Cd i Pb (*Vetiveria zizanioides*, Lai and Chen, 2004), Cr (*Brassica juncea*, Salt et al., 1995), Cu (*Festuca rubra*, Smith and Bradshaw, 1979), Ni (*Agropyron elongatum*, Chen and Wong, 2006) i Zn (*Cynodon dactylon*, Pierzynski et al., 1994).

Intenzivna istraživanja na deponijama pepela u Srbiji ukazuju da bi prilikom selekcije vrsta biljaka za obnavljanje deponija pepela trebalo imati na umu postojeći ekološki, vegetacijski i floristički potencijal datog prostora, koji obiluje bogatstvom životnih formi i ekoloških tipova biljaka. Trebalo bi favorizovati naseljavanje autohtonih vrsta biljaka koje koje prirodno rastu na tom području; koje su višegodišnje; koje imaju ekstenzivan korenov sistem i sposobnost vegetativnog razmnožavanja; sposobnost fiksacije azota (N-fiksatori); tolerišu visok pH, salinitet i toksične elemente; koje su tolerantne na ekstremno visoke temperature i sušu. Osim na izbor vrsta, pažnju treba posvetiti i na termine za njihovu setvu i sadnju, kako bi se formirao pokrivač funkcionalan tokom cele godine. Inicijalni vegetacijski pokrivač takođe mora efikasno usvajati nutrijente i tako sprečavati njihovo spiranje u dublje slojeve pepela i vraćati ih putem dekompozicije stvarajući uslove za formiranje prekursora zemljišta (humusa). Na taj način kreiraju se uslovi za uspostavljanje stabilnih biljnih zajednica (Pavlović et al., 2004, 2007; Đurđević et al., 2006; Mitrović et al., 2008; Kostić et al., 2012; Gajić et al., 2013; Mitrović and Pavlović, 2013).

Opstanak biljaka u ekstremnim ekološkim uslovima koji vladaju na deponijama pepela se zasniva se na strukturnim i funkcionalnim adaptacijama koje omogućavaju toleranciju toksičnih koncentracija hemijskih elemenata u pepelu, kao efikasnu snabdevenost biljaka nutrijentima i vodom. Naime, glavni izvor hemijskih elemenata za biljke je zemljišni rastvor u kome se elementi nalaze rastvoreni u obliku slobodnih jona ili formiraju komplekse (Marschner, 1995). Rastvoreni joni ulaze u ćelije korena preko

apoplasta i simplasta (Slika 1 L). Transport u apoplastu je limitiran visokim kapacitetom vezivanja za ćelijske zidove (Raskin et al., 1997), dok se kroz simplast transport jona odvija pomoću energetski zavisnih procesa i to preko specifičnih transportera (Marschner, 1995).

Mehanizmi koji kontrolišu homeostazu unutarćelijskih jona obuhvataju regulaciju influksa jona, tako što stimulišu aktivnost transportera pri niskom snabdevanju jona ili inhibiraju njihovu aktivnost pri visokim koncentracijama, ali takođe i izbacuju jone natrag u zemljišni rastvor, što se takođe postiže određenim transporterima (Jabeen et al., 2009). Translokacija jona iz korena u list se obavlja prvenstveno preko ksilema, ređe floema i njegova koncentracija u listu zavisi od koncentracije u korenu (Hardiman et al., 1984). Transport jona iz korena u listove se isto tako obavlja preko membranskih transportera, amino i/ili organskih kiselina (Jabeen et al., 2009). Najznačajnije familije transportera u korenu i listu koje su važne za održavanje metal-jon homeostaze i tolerancije biljaka su: CPx-tip (HM) ATPase, NRAMP familija proteina (natural resistence-associated macrophage protein), CDF familija proteina (cation diffision facilitator) i ZIP familija proteina (zinc-iron permease) (Yang et al., 2005). Tako, biljke aktiviraju različite mehanizme usvajanja, unutarćelijskog transporta i akumulacije u uslovima deficita i/ili toksičnosti nekog hemijskog elementa u ćelijama korena i listova (Slika 1 L). Tolerancija biljaka na visoke ili niske koncentrancije nekog hemijskog elementa se postiže fiziološkim i molekularnim mehanizmima, odnosno isključivanjem metala iz daljeg toka transporta (vezivanjem za ćelijski zid i / ili sprečavanjem transporta kroz plazma membranu) i akumulacijom metala (formiranjem kompleksa i sekvencioniranjem u vakuoli) (Baker, 1987).

Biokoncentracioni faktor (BCF) definiše odnos između sadržaja hemijskog elementa u korenu i sadržaja elementa u supstratu, i daje informaciju o njegovoj akumulaciji u korenu i efikasnosti uklanjanja hemijskog elementa iz određenog supstrata (Baker, 1981). Translokacioni faktor (TF) definiše odnos između sadržaja hemijskog elementa u listovima i sadržaja elementa u korenu, čime se dobija informacija o efikasnosti biljaka da transportuju određene hemijske elemente iz korena u listove (Baker, 1981). Utvrđivanje BCF i TF je značajno za određivanje mehanizama tolerancije i strategije opstanka biljaka na staništu (Slika 1 M). Tako, Baker (1981) klasifikuje biljke koje **imobilišu** neki hemijski element, odnosno zadržavaju ga na nivou korena i obezbeđuju

ograničen transport u listove i biljke **akumulatore**, koje u listovima značajno koncentrišu hemijske elemente, sve do određene kritične vrednosti iznad koje te koncentracije postaju toksične.

Na deponijama pepela biljke su izložene stresnim efektima visokih temperatura intenzivne sunčeve radijacije, suše, ali i deficitu ili toksičnosti pojedinih hemijskih elemenata (Slika 2 A, B, D – H). U stresnim uslovima sredine se stvaraju visoko reaktivne vrste kiseonika (ROS, reactive oxygen species), kao što su superoksidni radikal ($O_2^{\cdot -}$), hidroksilni radikal ($OH^{\cdot}$), vodonik peroksid (H_2O_2) i singlet kiseonik ($^1O_2$), Slika 2 I (Vranova et al., 2002). Hemijske vrste koje poseduju jedan ili više nesparenih elektrona u svojim spoljašnjim elektronskim orbitalama, definišu se kao **'slobodni radikali'** (Desikan et al., 2005; Halliwell, 2006; Halliwell and Gutteridge, 2006). U lancu radikalskih reakcija jednom generisani radikali formiraju druge slobodne radikale (Slika 2 J). Visoke koncentracije ROS izazivaju 'oksidativni stres' koji dovodi do oštećenja lipida membrana, proteina, ugljenih hidrata, nukleinskih kiselina, ali takođe narušavaju osnovne fiziološke procese, kao što su fotosinteza, respiracija, vodni režim i mineralna ishrana biljaka (Mittler, 2002) (Slika 2 C, K).

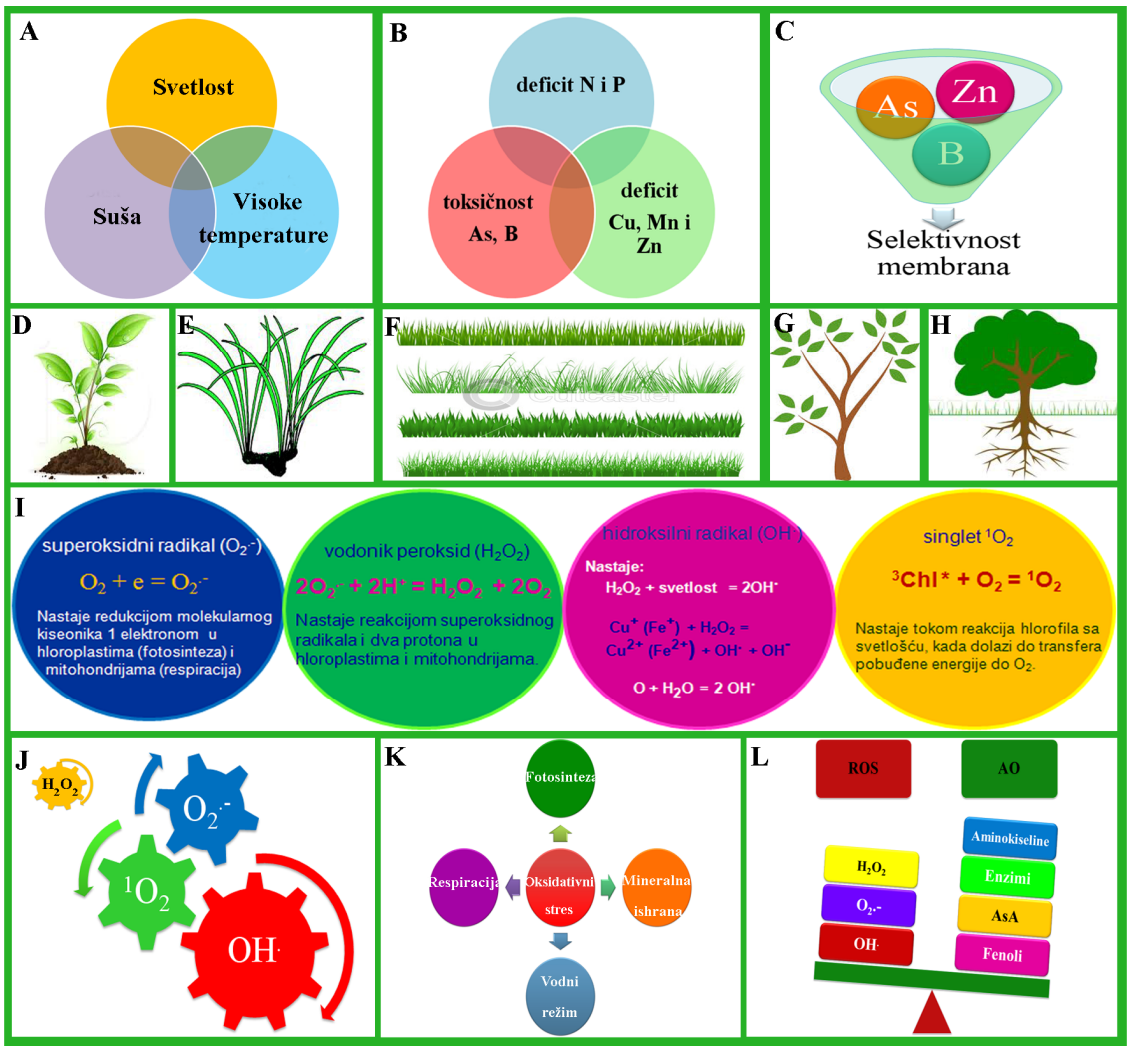
Uticaj nepovoljnih faktora sredine na biljke, se pre svega, ogleda u inhibiciji procesa **fotosinteze**, oštećenju fotosintetičkog aparata i smanjivanju vitalnosti biljaka. Kada biljke apsorbuju više energije nego što je mogu efikasno iskoristiti u procesu fotosinteze, dolazi do fotooksidativnog stresa, jer višak elektrona reaguje sa prisutnim kiseonikom i pobuđenim tripletnim stanjem hlorofila (^{3}Chl*) formiranim u reakcionom centru fotosistema II (PSII), pri čemu se stvara $^1O_2$, koji dovodi do konformacionih promena D1 proteina PSII (Foyer, 2002; Kriger-Liszkay, 2005). Isto tako, veliku osetljivost na ROS pokazuju proteini CP47 i CP43 kDa koji pripadaju sistemu antena hlorofila koji prikuplja svetlost (LHCPII, light harvesting protein complex), kao i kompleks za fotolizu vode (WSE, water spliting enzyme), koji obuhvata Mn klaster stabilizovan proteinima od 33, 16 i 10 kDa (Martinazzo et al., 2012). Takođe, u prisustvu visokih koncentracija ROS, transport elektrona od primarnih akceptora elektrona Q_A do Q_B može biti usporen ili blokiran, a količina plastokinon molekula (PQ pul) smanjena (Mysliwa – Kurdziel et al., 2002). Kinetika fluorescencije hlorofila ukazuje na frakciju funkcionalno aktivnih reakcionih centara PSII, disipaciju prekomerne energije preko antena pigmenata (karotenoidi), fotoinhibiciju PSII na donor

i/ili akceptor mestu, imbalans transfera energije između PSII i PSI, i smanjenu fotosintetičku efikasnost biljaka (Aro et al., 1993; Mysliwa – Kurdziel et al., 2002). **Hlorofili** (Chl *a* i Chl *b*) i **karotenoidi** predstavljaju osnovne fotosintetičke pigmente koji su sposobni da apsorbuju svetlost, te ulaze u sastav LHCP kompleksa, ali takođe ulaze u sastav ili su asocirani sa fotohemijskim reakcionim centrima (PSI i PSII) (Lambers et al., 1998). Međutim, karotenoidi imaju i fotozaštitnu funkciju, jer učestvuju u ne-fotohemijskom gašenju ekscitovane energije PSII i disipaciji prekomerne energije u vidu toplote (Smirnoff, 2005). Utvrđeno je da deficit ili toksičnost nekog hemijskog elementa dovodi do inhibicije biosinteze pigmenata, i smanjene efikasnosti fotosinteze (Mysliwa – Kurdziel and Strzalka, 2002). **Antocijani** su pigmenti koji pripadaju fenolnim jedinjenjima i to flavonoidima (cianidin glukozidi) i imaju funkciju da štite fotosintetički aparat od stresa, smanjuju peroksidaciju lipida membrana i mogu da direktno uklanjaju $O_2^{\cdot -}$ radikal (Neill and Gould, 2003; Yamasaki et al., 1996). **Malondialdehid (MDA)** predstavlja finalni produkt peroksidacije lipida membrana, indikator je slobodnih radikala i oštećenja membrana (Esterbauer et al., 1991; Weber et al., 2004). U uslovima 'oksidativnog stresa' mnoge funkcije membranskog sistema su narušene, kao što su: transport elektrona, produkcija ATP i metabolička kompartmentacija, jer su u njima smeštene jonske pumpe, jonski kanali i transportni proteini (Rao et al., 2006).

Tolerancija biljaka na stresne faktore sredine se postiže razvijanjem određenih strukturno-funkcionalnih odlika koje predstavljaju njen **adaptivni mehanizam** (Stevanović, 2001). Održavanje ćelijske redoks homeostaze se postiže aktiviranjem antioksidativnog sistema biljaka (Foyer and Noctor, 2005). Antioksidativni sistem (AO) biljaka predstavlja kompleks kontrolnih sistema koji im omogućavaju da savladaju stres sa minimalnim oštećenjem ćelijske strukture i funkcije (Foyer and Noctor, 2005; Halliwell, 2006).

Efikasno uklanjanje ROS je omogućeno ne - enzimskim (askorbinska kiselina, AsA; karotenoidi; α – tokoferol, vitamin E; glutation, GSH; fitohelatini, PCs; metalotionini, MTs; fenoli) i enzimskim (superoksid dismutaza, SOD; askorbat peroksidaza, APX; glutation reduktaza, GR; katalaze, CAT; glutation S transferaze, GST) komponentama AO (Mittler, 2002; Foyer and Noctor, 2005). Balans između produkcije ROS i

biosinteze antioksidanata je veoma važan u redoks kontroli homeostaze u apoplastu i citoplazmi ćelije (Halliwell, 2006; Foyer and Shigeoka, 2010) (Slika 2 L).



Slika 2. Uticaj stresnih faktora životne sredine na biljke (A, B, D - H); selektivnost membrana (C); generisanje reaktivnih vrsta kiseonika, ROS (I); lanac radikalskih reakcija (J); uticaj oksidativnog stresa na fiziološke procese biljaka (K); balans između ROS i AO (L) (šematski model prema Foyer and Shigeoka, 2010).

Ovi antioksidanti deluju kao redoks puferi smanjujući količinu ROS u ćelijama biljaka. Međutim, ROS mogu da budu signalni molekuli pri normalnom procesu rasta i razvića biljaka, kao i u njihovom adaptivnom odgovoru na stres (Smirnoff, 2005; Foyer and Noctor, 2005; Foyer and Shigeoka, 2010). Prema Foyer and Noctor (2005) biljke su dobro adaptirane na smanjenje količine pojedinih antioksidanata signalnom indukcijom drugih protektivnih sistema, kao što je brza obnova proteina koji mogu da kompezuju

povećanu oksidaciju ili gubitak antioksidanata. **Fenolna jedinjenja** predstavljaju veoma važne sekundarne metabolite koja imaju strukturnu ulogu kod biljaka (izgrađuju ćelijski zid), deluju kao aktivni antoksidanti smanjujući direktno količinu ROS ili vezuju metale, smanjuju peroksidaciju lipida membrana i fotooštećenja PSII (Grace, 2005). Njihova antioksidativna aktivnost zavisi od broja i pozicije hidroksilnih (OH) grupa i metoksi (-CH3) subsituenata (Grace, 2005; Cai et al., 2006; Michalak, 2006). **Askorbinska kiselina (AsA)** je veoma važan antioksidant, kofaktor enzima (enzim violaksantin de – epoksidaza koji dovodi do stvaranja zeaksantina; enzimi koji sintetišu flavonoide), učestvuje u transportu elektrona (donira elektrone PSII), ima ulogu regeneraciji α – tokoferola, kao i deobi i rastu ćelija (Smirnoff, 2005). Enzim APX je esencijalan u uklanjanju H_2O_2 u procesu fotosinteze zajedno sa GR, kao deo askorbat – glutation Asada – Halliwell puta (Mittler and Poulos, 2005). Aktivnost AsA zavisi od mehanizma i brzine njegove regeneracije i količine redukovane forme (Smirnoff, 2005). **Ukupna antioksidativna aktivnost** u listovima biljaka zavisi od vrste, inteziteta i vremena trajanja stresa, kao i sposobnosti antioksidanata da uklone ROS, što je važno za održavanje redoks homeostaze i adaptivnog odgovora biljke na stres (Foyer and Noctor, 2005).

U ovoj doktorskoj disertaciji pošlo se od od **hipoteze** da su na antropogeno degradovanim staništima, kao što su deponije pepela termoelektrane 'Nikola Tesla-A' u Obrenovcu (TENT-A), biljke izložene višestrukim faktorima stresa, kao što su nepovoljne fizičke i hemijske karakteristike pepela i nepovoljni klimatski uslovi koji limitiraju njihov opstanak, odnosno izazivaju biohemijska, fiziološka i morfološka oštećenja listova i/ili korenova biljaka. Istovremeno, brojne biljne vrste opstaju i razvijaju se na pepelu, gde su prinuđene da ispoljavaju ili razvijaju adaptacije koje im omogućavaju opstanak u stresnim uslovima. Različiti adaptivni mehanizmi su vezani pre svega za procese usvajanja i translokacije polutanata, odnosno njihove distribucije, redistribucije, skladištenja i detoksifikacije u listovima i korenovima, ali i za tolerisanje ekstremnih klimatskih uslova.

Odabrane vrste zeljastih biljaka za ekofiziološka ispitivanja su vrste koje se koriste u biološkoj rekultivaciji pepelišta kao što su: *Festuca rubra* L. (crveni vijuk) i *Dactylis glomerata* L. (ježevica) i vrste koje su spontano pridošle na ova staništa prirodnom

sukcesijom vegetacije sa okolnih prostora: *Calamagrostis epigeios* (L.) Roth. i *Oenothera biennis* L. (žuti noćurak).

Osnovni cilj ove doktorske disertacije je utvrđivanje opsega adaptivnih odgovora, a time i ustanovljavanje adaptivnih mehanizama i strategija ispitivanih biljaka u uslovima višestrukog stresa na deponiji pepela. U cilju definisanja ekofiziološkog odgovora biljaka na efekte stresora obavljena su sledeća merenja i analize (Slika 3):

a) utvrđivanje fitocenološkog sastava vegetacijskog pokrivača na deponiji pepela u cilju procenjivanja ekološkog i florističkog potencijala biljaka u procesu biološke rekultivacije pepelišta;

b) utvrđivanje fizičko-hemijskog sastava pepela i zemljišta u cilju identifikacije limitirajućih faktora za funkcionisanje ispitivanih biljaka;

c) utvrđivanje ukupne i potencijalne DTPA - dostupne frakcije hemijskih elemenata u pepelu i zemljištu u cilju procenjivanja mobilnosti i potencijalne toksičnosti hemijskih elemenata prisutnih u supstratima;

d) utvrđivanje sadržaja hemijskih elemenata i korenu i listovima, kao i biokoncentracionog (BCF) i translokacionog faktora (TF) u cilju određivanja efikasnosti biljaka da usvajaju, transportuju i akumuliraju hemijske elemente u svojim tkivima;

e) utvrđivanje nivoa fizioloških oštećenja kod ispitivanih biljaka merenjem fotosintetičke efikasnosti PSII u listovima;

f) utvrđivanje količine hlorofila, karotenoida i antocijana u listovima biljaka u cilju određivanja osetljivosti pigmenata koji ulaze u sastav reakcionog centra PSII i antenskih pigmenata, a imaju značajnu ulogu u zaštiti fotosintetičkog aparata u uslovima stresa;

g) utvrđivanje 'oksidativnog' stresa u listovima merenjem količine malondialdehida (MDA), kao indikatora slobodnih radikala i oštećenja membrana ćelija;

h) utvrđivanje količine askorbinske kiseline (AsA) u listovima sa ciljem definisanja njegove potencijalne uloge kao antioksidanta;

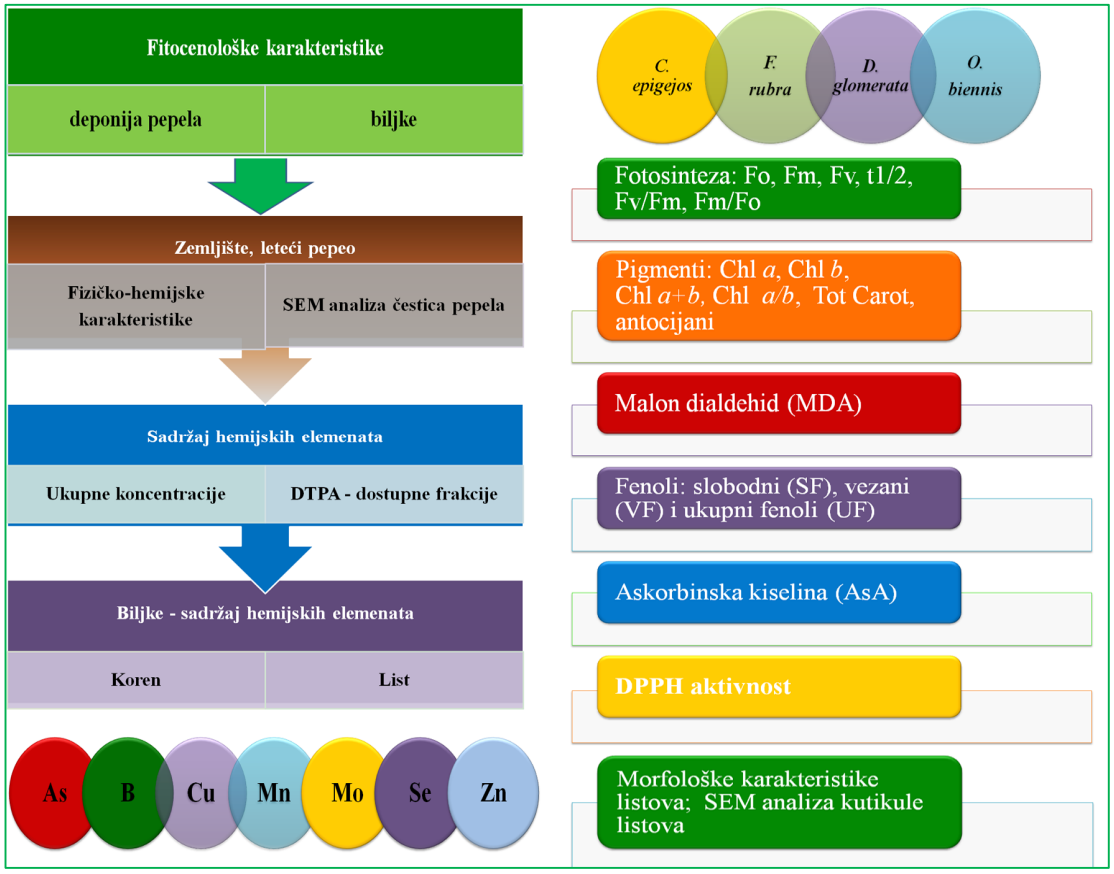
i) utvrđivanje količine fenolnih jedinjenja (slobodnih, vezanih i ukupnih formi fenolnih jedinjenja) u listovima sa ciljem definisanja sekundarnih metabolita kao potencijalnih antioksidanata;

j) utvrđivanje ukupne antioksidativne aktivnosti biljaka korišćenjem DPPH radikala, sa ciljem definisanja ukupnog antioksidativnog potencijala biljaka u uslovima višestrukog stresa;

k) utvrđivanje morfoloških promena listova i stanja površinskih struktura listova;

l) SEM (EDS) analiza veličine, oblika i hemijskog sastava čestica pepela i zemljišta na površini listova biljaka sa ciljem definisanja vidljivih simptoma oštećenja kao posledice izloženosti stresnim faktorima na pepelištu.

U aplikativnom smislu, ova istraživanja daju doprinos u utvrđivanju adaptivnih strategija biljaka sposobnih za kolonizaciju na deponijama pepela, što bi moglo biti značajno kako za razumevanje mehanizama koji doprinose tolerisanju stresa kod biljaka, tako i za kreiranje strategija ekološkog obnavljanja degradovanih ekosistema.



Slika 3. Zadaci doktorske disertacije.

2. ISTRAŽIVANO PODRUČJE TERMOELEKTRANE 'NIKOLA TESLA – A' (TENT – A) U OBRENOVCU

2.1. Opšte karakteristike TENT-A u Obrenovcu

Termoelektrana 'Nikola Tesla – A' (TENT-A) u Obrenovcu je izgrađena 1970. godine i smeštena je na desnoj obali reke Save, 40 km uzvodno od Beograda. Sa šest blokova ukupne instalacione snage 1650 MW (2 bloka od 210 MW, jedan blok od 305 MW i tri bloka od 308.5 MW) predstavlja najveću termoelektranu u Srbiji i na Balkanu. TENT-A je najveći proizvođač električne energije u elektroenergetskom sistemu Srbije, koji prosečno proizvodi 8 milijardi kilovat sati godišnje.

Termoelektrana u Obrenovcu se snabdevaju niskokaloričnim ugljem (lignitom) iz Kolubarsko-Tamnavskih površinskih kopova. Transport se vrši internom železnicom dužine 25 km kojom se prevozi godišnje 37 miliona tona (Mt) lignita. Godišnje TENT-A sagori 12-14 Mt lignita. Sagorevanjem lignita u kotlovima termoelektrane nastaju velike količine dimnih gasova koji sadrže SO_2, NO_x, CO, CO_2, leteći pepeo i šljaka. Posle elektrostatičkog izdvajanja letećeg pepela u elektrofilterima, dimni gasovi se ispuštaju preko dimnjaka na visini od 150-220 m. Leteći pepeo ima nepovoljne efekte na zdravlje ljudi (US EPA, 2007).

Približno 2.4 Mt pepela i šljake se godišnje deponuje na otvorenim odlagalištima ukupne površine 400 ha na poljoprivrednom zemljištu tipa fluvisol. Deponija TENT-A je okružena naseljima i obradivim površinama (Slika 4). Pored toga, na levoj obali reke Save nalazi se specijalni rezervat prirode 'Obedska bara'.

Odlaganje pepela se vrši istakanjem u tri kasete, od kojih je jedna aktivna (Slika 5), a druge dve su u fazi privremenog mirovanja (pasivne, rezervne kasete) radi tehničke konsolidacije pepela i dreniranja, ali i za slučaj havarija ili prestanka istakanja pepela (Slika 6 i Slika 7). Deponija TENT-A je projektovana za smeštaj $112x10^6$ m^3 pepela i šljake. Do sada je na deponiji TENT-A odloženo oko $66x10^6$t pepela. Na kasete deponije hidrauličkim putem se transportuju pepeo i šljaka koji se mešaju sa vodom u odnosu 1:10 ili 1:20. Iz suspenzije pepela i vode nastaju prelivne i drenažne otpadne vode koje se indirektno preko drenažnih kanala ispuštaju u reku Savu. Sistem drenažnih bunara smešten je po obodu nasipa radi sprečavanja zabarivanja okolnog terena i hemijskog zagađivanja podzemnih voda. Podizanje obodnih nasipa se ostvaruje

hidrocikliranjem pepela, čime se krupne frakcije pepela odvajaju iz pulpe i usmeravaju u poseban uređaj za ‘zidanje’nasipa, istakanjem pulpe sa krupnim frakcijama pepela.



Slika 4. Deponija pepela termoelektrane ‘Nikola Tesla–A’ u Obrenovcu

Uticaj TENT-A na životnu sredinu se periodično prati u saradnji sa ovlašćenim institucijama. Merenje emisije polutanata u vazduhu (SO_2, NO_x, CO, CO_2 i leteći pepeo) obavlja Rudarski Institut-Zemun. Tako su u toku 2009. godine merenja emisije SO_2 na svim blokovima TENT-A pokazala da su se koncentracije SO_2 kretale od 1354–2430 mg/m^3 i da su bile iznad granične vrednosti emisije (GVE, 650 mg/m^3); koncentracije NO_2 su se kretale od 393–668 mg/m^3 i prelazile su GVE (450 mg/m^3); koncentracije letećeg pepela su se kretale od 15–313 mg/m^3 i prelazile su GVE (50 mg/m^3). Iz termoelektrane TENT-A godišnje se emituje preko 80x10^3 t/god. SO_2, 25x10^3 t/god. NO_2, 5x10^3 t/god. letećeg pepela i 12x10^3 t/god. CO_2. Osim emisije polutanata na kvalitet vazduha u okolini termoelektrana i Obrenovca imaju i meteorološki parametri. Nizak vazdušni pritisak, velika vlažnost vazduha, pojava magle i temperaturnih inverzija pogoduju zadržavanju polutanata u prizemnom sloju vazduha,

odnosno u blizini izvora zagađivanja. Položaj deponije pepela na prostoru opštine Obrenovac je takav da zapadni, severozapadni i jugoistočni vetrovi direktno ugrožavaju gradsko jezgro, veliki deo opštine, kao i zaštićeno područje 'Obedska bara'.

Silikatnu analizu elektrofilterskog pepela TENT-A obavlja Institut za nuklearne nauke 'Vinča' Univerziteta u Beogradu (Tabela 1). Podaci za 2009. godinu pokazuju da se pepeo iz TENT-A najvećim delom sastoji od SiO_2+Al_2O_3+Fe_2O_3 (85.32%) i CaO (5.89%). Ovakav tip pepela pripada klasi C koji nastaje sagorevanjem lignita i sadrži minimum 50% SiO_2+Al_2O_3+Fe_2O_3, kao i visok procenat Ca. Ostali hemijski elementi koji se najčešće javljaju u manjem procentu u pepelu su: Mg, Na, K, Ti, P i S.

Tabela 1. Silikatna analiza elektrofilterskog pepela TENT-A u 2009. godini (Institut za nuklearne nauke 'Vinča').

Silikatna analiza elektrofilterskog pepela TENT-A	
%	*14.10.*
SiO_2	54.21
Al_2O_3	24.98
Fe_2O_3	6.13
CaO	5.89
MgO	3.15
Na_2O	0.29
K_2O	1.12
TiO_2	0.69
P_2O_5	0.07
SO_3	0.96

Klasa C letećeg pepela se odlikuje cementnim karakteristikama i ukazuje na mogućnost korišćenja pepela u različite svrhe, pre svega za proizvodnju cementa i drugih građevinskih materijala. Institut za puteve u Beogradu je u okviru istraživačko-razvojnog projekta 'Korišćenje elektrofilterskog pepela i šljake proizvedenih u termoelektranama `Nikola Tesla A i B` i termoelektranama `Kostolac` za potrebe putogradnje', 2008. godine pokazao, na osnovu fizičko-mehaničkih karakteristika, hemijskog sastava pepela i šljake, kao i kompozita koji se dobijaju njihovim kombinovanjem sa krečom i cementom, da su ovi materijali povoljni za izgradnju puteva, saobraćajnica i drugih infrastrukturnih sistema. Od 2008. godine TENT-A isporučuje pepeo fabrici 'FGM Trudbenik-Ub' za potrebe proizvodnje građevinskog materijala. U 2009. godini je bilo isporučeno 12 266 tona pepela.

Hemijsku analizu uglja, elektrofilterskog pepela, kao i pepela i šljake sa deponija obavlja Institut za opštu i fizičku hemiju u Beogradu (Tabela 2). Podaci pokazuju prisustvo 22 hemijska elementa: As, B, Ba, Cr, Cu, Cl, F, Ga, Hg, Li, Mn, Mo, Nb, Ni, Pb, Rb, Sc, Sr, V, Zn, Zr, Y. U elektrofilterskom pepelu, šljaci i pepelu sa aktivne i pasivnih kaseta izmerene su visoke koncentracije As, B, Ba, Cr, Cu, Mn, Zn, Ni, Rb i Sr. Generalno, svi izmereni hemijski elementi se uglavnom mogu svrstati u dve kategorije u odnosu na veličinu čestice: a) isparljivi elementi čija je koncentracija u sitnijim česticama pepela veća u odnosu na šljaku i to su: As, Cr, Ga, Rb i Zn; b) manje isparljivi elementi čija je koncentracija približno jednaka u pepelu i šljaci (ravnomerna raspodela), a to su: Cu, Ni, Mn i Sc.

Kontrolu radioaktivnosti u životnoj sredini obavlja Institut za nuklearne nauke 'Vinča' Univerziteta u Beogradu. U 2009. godini na osnovu gamaspektrometrijske analize uzoraka uglja, elektrofilterskog pepela, pepela sa aktivnih i pasivnih kaseta, biljaka sa kaseta deponije, poljoprivrednog zemljišta u blizini deponije, kao i biljaka sa tog zemljišta, pokazala da nema povećanja radioaktivnosti životne sredine usled rada termoelektrana.

Kontrolu kvaliteta otpadnih voda TENT-A i uticaja na površinske i podzemne vode obavlja Institut za opštu i fizičku hemiju u Beogradu. Tako je kontrola površinskih voda 2009. godine pokazala da nema promene u kvalitetu II klase vodotoka reke Save u pogledu sulfata i arsena, ali da koncentracija mineralnih ulja prelazi maksimalno dozvoljene koncentracije. Koncentracije arsena i sulfata u podzemnim vodama najbližim aktivnoj kaseti uglavnom prelaze maksimalno dozvoljene koncentracije u vodi za piće.

Tabela 2. Hemijska analiza uglja, elektrofilterskog pepela, kao i pepela i šljake sa aktivne i pasivne kasete TENT-A u 2009. godini (Institut za opštu i fizičku hemiju – Beograd).

Parametar	***Sadržaj mikroelemenata u uglju (mg/kg)***	***Sadržaj mikroelemenata u elektro-filterskom pepelu (mg/kg)***	***Sadržaj mikroelemenata u šljaci (mg/kg)***	***Sadržaj mikroelemenata u pepelu deponija (mg/kg)***	
				Aktivna	***Pasivna***
	14.10.	*14.10.*	*14.10.*	*14.10.*	*14.10.*
As	14	158	100	130	119
B	460	980	1250	1120	1200
Ba	140	320	362	340	330
Cr	110	310	226	280	270
Cu	40	132	103	102	110
Cl	1732	<10	<10	<10	<10
F	58	<1	<1	<1	<1
Ga	10	50	46	56	55
Hg	0.25	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Li	35	68	55	60	66
Mn	181	380	438	440	450
Mo	<5	<5	<5	<5	<5
Nb	6	15	13	15	15
Ni	53	122	130	130	156
Pb	13	23	23	32	35
Rb	40	159	89	180	170
Sc	<1	<1	<1	<1	<1
Sr	70	155	110	200	180
V	38	132	79	102	98
Zn	37	107	103	98	110
Zr	23	60	60	60	72
Y	14	20	30	23	31

2.2. Mere zaštite na deponiji TENT-A u Obrenovcu

Na deponiji TENT-A, u cilju smanjenja negativnog uticaja deponije na životnu sredinu usled eolske erozije **sprovode se mere zaštite (**Kisić et al., 2000, 2009, 2010). Zaštita se postiže održavanjem drenažnog kanala oko deponije, drenažnih bunara po celom obimu deponije (57), održavanjem maksimalne površine vodenog ogledala (jezera) na aktivnoj kaseti (25-55% površine), korišćenjem sistema topova za kvašenje suvih površina unutar ravnog dela deponije (80 topova), korišćenjem sistema prskača za kvašenje nasipa i zalivanje travnatog pokrivača (124 prskača) i sprovođenjem biološke rekultivacije (setva trava i sadnja drvenastih i žbunastih vrsta biljaka), Slike 5 - 7.

Biološka rekultivacija se primenjuje duže od 20 godina. Od 2004. godine obavlja se po tehnologiji koja je u skladu sa 'Glavnim programom rekultivacije deponije pepela TENT-A i TENT-B' predloženim od strane Instituta za zemljište, Beograd. Projektom su definisane: količina smeše trava, biljne vrste u sastavu smeše trava, broj individua žbunastih i drvenastih vrsta biljaka na jedinicu površine; način i količina primene mineralnih đubriva; tehnologija i vreme izvođenja radova.

Formiranje biopokrivača na deponijama pepela se postiže setvom zeljastih vrsta biljaka i sadnjom žbunastih i drvenastih biljaka. Formiranje **zeljastog pokrivača** se sprovodi na ravnim površinama pasivnih kaseta i kosim površinama nasipa. Na nasipima aktivnih kaseta setva zeljastih vrsta biljaka se sprovodi sukcesivno sa gradnjom nasipa. Zeljasti biopokrivač se formira od jednogodišnjih i višegodišnjih vrsta trava i leguminoza, koje su tolerantne na nepovoljni fizičko-hemijski sastav pepela, kao i nepovoljan vodni i temperaturni režim koji vlada na deponiji. Jednogodišnje zeljaste vrste biljaka u prvoj godini svojim brzim rastom štite podlogu od raznošenja pepela i isušivanja, a takođe štite i višegodišnje zeljaste biljke od ekstremnih temperatura i suše, koje u prvoj godini imaju mali prirast, a njihovo bokorenje započinje tek početkom sledeće godine.

Pogodnu smešu jednogodišnjih vrsta trava čine sledeće biljne vrste: *Secale cereale* (ozima raž), *Avena sativa* (ovas), *Sorghum vulgare* var. *sudanese* (sudanska trava), *Hordeum sativum* (ječam) *Dactylis glomerata* (ježevica), *Festuca rubra* (crveni vijak), *Poa pratensis* (prava livadarka), *Lolium italicum* (italijanski ljulj), *Lolium perenne* (engleski ljulj), *Arrhenatherum elatius* (francuski ljulj), *Phleum pratense* (mačji rep) i *Festuca pratense* (livadski vijuk). Leguminoze koje se najčešće seju na deponiji pepela su: *Vicia villosa* (ozima grahorica), *Medicago sativa* (lucerka) i *Lotus corniculatus* (žuti zvezdan). Setva travno-leguminozne smeše se obično obavlja u jesen i proleće.

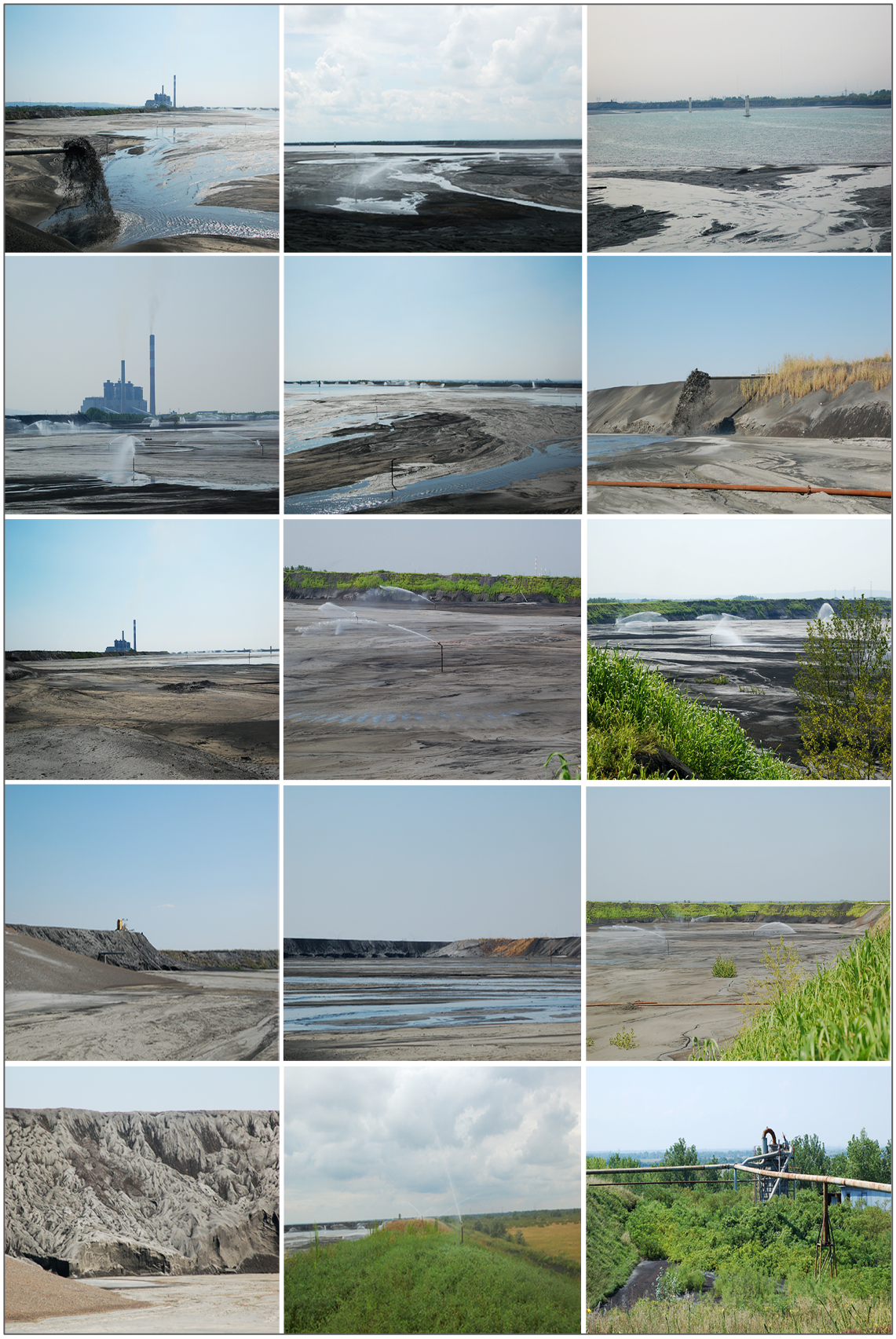
Za rekultivaciju ravnog dela i nasipa pasivne kasete III (K3), 2006. godine bile su korišćene sledeće vrste trava i leguminoza: *S. cereale*, *D. glomerata*, *F. rubra*, *A. elatius*, *L. italicum*, *V. villosa, M. sativa* i *L. corniculatus*. Za rekultivaciju kasete II (K2), 1998. godine u travno-leguminoznoj smeši biljaka nalazile su se iste biljne vrste.

Agrotehničke mere koje se primenjuju pri zasnivanju zeljastog pokrivača su: đubrenje mineralnim đubrivima NPK (15:15:15 na 1000kg/ha); prihrana azotnim đubrivima (KAN) u količini 300 kg/ha u sezoni nakon setve; zalivanje zasejanih

površina do potpunog formiranja zeljastog pokrivača (do 2 godine). Poslednjih godina testira se zasnivanje zeljastog pokrivača metodom hidrosetve. Ova metoda podrazumeva upotrebu hidrogela: mešanje semena, đubriva, vezivnih materija (lepkova) i malča sa vodom. Hidrogel je tečnost koja se nanosi na površinu pepela i ostavlja čvrstu pokoricu debljine do 2 cm. Moć upijanja vode je oko 100 puta veća u odnosu na čestice gline iste veličine i ne dozvoljava gubljenje vode iz supstrata. Hidrosetva omogućava brzo klijanje i formiranje travnatog pokrivača (5-7 dana), kao i njegovo ravnomerno formiranje po celoj površini, i ujednačenu, dobru pokrovnost na erodiranim nasipima.

Formiranje zasada žbunastih vrsta i drveća se sprovodi na nasipima, na ravnim delovima pasivnih kaseta, kao i oko deponije u cilju stabilizacije strmih nagiba, sprečavanja transporta čestica pepela i lokalnog smanjivanja udara vetrova. Drvenaste i žbunaste biljke koje su do sada sađene na pepelištu su: *Populus alba* (bela topola), *Robinia pseudoacacia* (bagrem), *Alnus glutinosa* (jova), *Ailanthus glandulosa* (kiselo drvo), *Betula verrucosa* (breza), *Elaegnus angustifolia* (dafina), *Gleditchia triacanthos* (gledičija); *Tamarix* sp. (tamariks), *Glycyrrhiza glabra* (sladić), *Ribes aureum* (ribizla), *Rhus cotinus* (ruj), *Cornus mas* (dren). Prirodnom sukcesijom vegetacije na pepelištu spontano se javljaju žbunaste vrste od kojih su najčešće: *Amorpha fruticosa* (bagrenac) i *Rosa canina* (divlja ruža). Uspešnost sadnje zavisi od odabira biljnih vrsta, kvaliteta sadnog materijala, vremena sadnje, tehnologije sadnje, mera nege i zaštite. Prolećna sadnja se pokazala uspešnijom od jesenje, usled intenzivnog rasta korenovog sistema i lakšeg uranjanja u supstrat. Đubrenje se obavlja pri svakoj sadnji, upotrebom NPK mineralnog đubriva (15:15:15). Prihrana se vrši naredne sezone azotnim đubrivima (do 150 g po sadnici). Navodnjavanje sadnica je neophodno u prvih 2-3 godine, što doprinosi boljem rastu i bržem formiranju sklopa. Najkritičniji period razvoja drvenastih i žbunastih biljaka na pepelu je prvih 4-5 godina.

Dobar izbor biljnih vrsta predstavlja jedan od osnovnih uslova za uspešnu rekultivaciju deponije pepela i trajni vid zaštite (Kisić et al., 2005).



Slika 5. Aktivna kaseta (K1) TENT-A u Obrenovcu (foto: Gajić, G.).



Slika 6. Pasivna kaseta III (K3) TENT-A u Obrenovcu (foto: Gajić, G.).

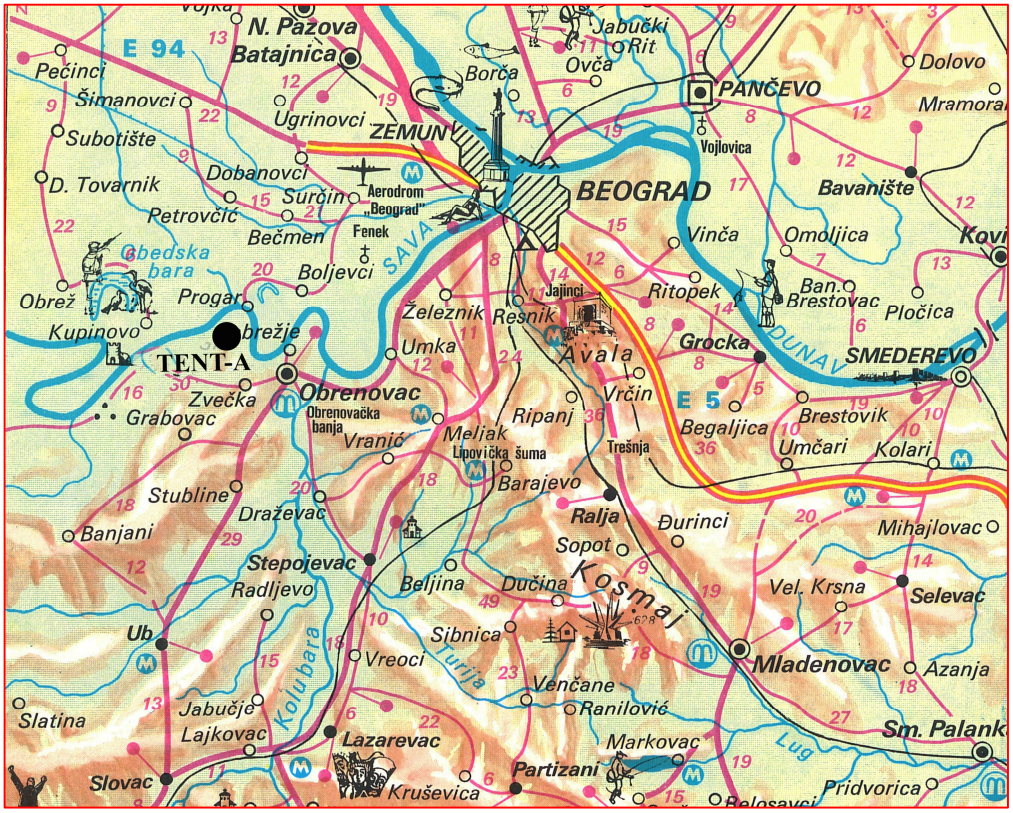


Slika 7. Pasivna kaseta II (K2) TENT-A u Obrenovcu (foto: Gajić, G.).

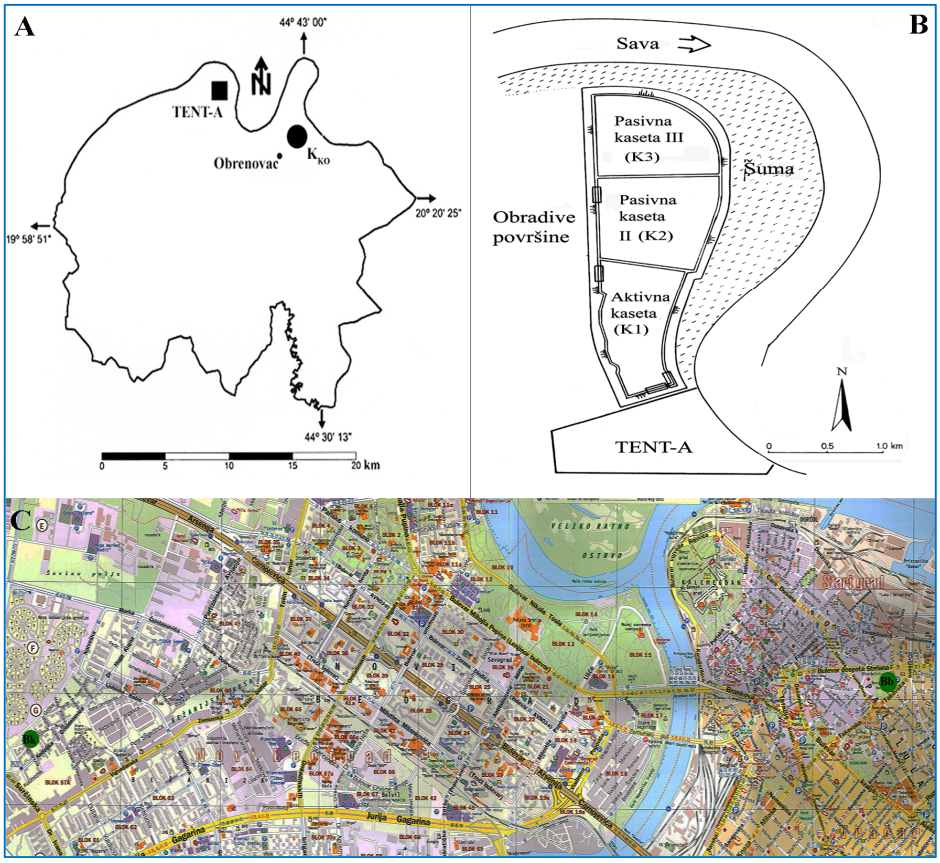
3. MATERIJAL I METODE

3.1. Ispitivana staništa

Ekofiziološka istraživanja bila su obavljena na biljnim vrstama koje se koriste za biološku rekultivaciji pepelišta, kao što su *Festuca rubra* L. i *Dactylis glomerata* L., kao i na vrstama *Calamagrostis epigejos* (L.) Roth. i *Oenothera biennis* L. koje su spontano kolonizovale prostor na deponiji pepela. Terenska istraživanja bila su izvršena na pasivnim **kasetama deponije pepela termoelektrane TENT-A u Obrenovcu** i to na kaseti staroj 3 godine (kaseta III, K3) i kaseti staroj 11 godina (kaseta II, K2), Slika 8 i Slika 9 B. **Kontrolna staništa** se nalaze na obali reke Kolubare u Obrenovcu (oko 3 km udaljeno od deponije pepela TENT-A - K_{Ko}), u Botaničkoj bašti 'Jevremovac' Biološkog fakulteta Univerziteta u Beogradu (K_{Bb}), koja se nalazi u užem centru Beograda i naselju Bežanijska kosa (K_{Bk}), u predgrađu Beograda (Slika 8; Slika 9 A, C; Slika 10).



Slika 8. Termoelektrana 'Nikola Tesla–A' (TENT-A) u Obrenovcu i Beograd.



Slika 9. Šema ispitivanih staništa: 'TENT – A' u Obrenovcu i nasip na reci Kolubari (Ko) (A); kasete različite starosti na deponiji pepela (B); Botanička bašta 'Jevremovac' (Bb) i naselje Bežanijska kosa u Beogradu (Bk) (C).



Slika 10. Kontrolna staništa: nasip reke Kolubare, K_{Ko} (A); Botanička bašta 'Jevremovac', K_{Bb} (B); naselje Bežanijska kosa, K_{Bk} (C); staništa na TENT-A: kaseta III, K3 (D); kaseta II, K2 (E) (foto: Gajić, G.).

3.2. Uzorkovanje zemljišta, pepela i biljnog materijala

Zemljište, pepeo – Na svim ispitivanim površinama TENT–A (K2 i K3) i kontrolnom staništu na nasipu reke Kolubare (K_{Ko}), napravljeni su pedološki profili i uzimani su uzorci pepela i zemljišta, po dubinama 0-10cm, 10-20cm, 20-30cm, 30-40cm i 40-50cm radi fizičko-hemijske analize pepela i zemljišta. Na aktivnoj kaseti TENT-A (K1), kao i na kontrolnim staništima (K_{Bb} i K_{Bk}) uzorci supstrata su uzimani na dubini 0-10cm zbog nemogućnosti otvaranja pedološkog profila. Na aktivnoj kaseti, deponija pepela je najvećim delom pod vodenim ogledalom, tako da su uzorci pepela uzimani na ravnom delu kasete, 5-10 m od oboda kasete.

Biljke - Sa kasete III (K3) su sakupljani uzorci vrste *C. epigejos*, *F. rubra*, *D. glomerata* i *O. biennis*, a sa kasete II (K2) bile su prikupljane navedene biljne vrste, izuzev *D. glomerata*. Vrsta *D. glomerata* nije sakupljana na kaseti II, usled male brojnosti. Biljni materijal sa kasete III je uziman unutar ravnog dela kasete, na udaljenosti od 5-30 m od nasipa iste kasete, koji čini granicu sa kasetom II. Sa kasete II uzorci biljnog materijala su takođe sakupljani unutar ravnog dela kasete, na udaljenosti od 10-50 m od obodnog dela iste kasete, koji čini granicu sa kasetom III. Vrste *C. epigejos* i *D. glomerata* sakupljane su na nasipu reke Kolubare. Vrsta *F. rubra* je uzorkovana u Botaničkoj bašti 'Jevremovac', dok je vrsta *O. biennis* uzorkovana u naselju Bežanijska kosa.

Terenska i laboratorijska istraživanja na kasetama deponije pepela (K3 i K2), kao i na kontrolnim staništima (K_{Ko}, K_{Bb} i K_{Bk}), obavljena su tokom 2009. godine u tri sezonska preseka: maj, jul i avgust.

3.3. Fitocenološka analiza

Fitocenološka istraživanja deponija pepela TENT – A u Obrenovcu su obavljena po metodi Westhoff and Van der Marrel (1973) koja koristi kombinovanu numeričku skalu brojnosti i pokrovnosti. Determinacija biljnih vrsta izvršena je na osnovu Flore Srbije (Josifović et al. 1970-1980) i Ikonographie Der Flora Des Südöstlichen Mitteleuropa (Javorka and Csapody, 1975). Na nasipima K3 i K2, snimci su obuhvatali površinu od 10x20 m, a u ravnom delu K3 i K2, površinu od 20x20 m.

Data je zajednička ocena za brojnost i pokrovnost: 1 (1%), 2 (2%), 3 (5%), 5 (25%), 7 (50%), 8 (75%) i 9 (100%) prema Westhoff-van der Marrel (1973).

Stepen prisutnosti koji predstavlja broj snimaka u kojima je određena vrsta zabeležena u odnosu na ukupan broj snimaka: 0 – 20% (I); 20 – 40% (II); 40 – 60% (III); 60 – 80% (IV); 80 – 100% (V) je takođe utvrđen prema Braun-Blanquet (1964).

3.4. Fizičko-hemijska analiza pepela i zemljišta

Fizičke karakteristike pepela i zemljišta - Granulometrijski sastav zemljišta (mehanička analiza) rađena je metodom sedimentacije, kombinovanom pipet tehnikom, u 0.4M rastvoru natrijum pirofosfata, a frakcionisanje je vršeno prema Aterberg u šest frakcija i to: od 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. Određen je sadržaj ukupnog peska, čestice od 2.0-0.02 mm i sadržaj ukupne gline i koloida (čestice manje od 0.002 mm); higroskopna vlaga zemljišta (sušenjem uzoraka na temperaturi od 105°C do konstantne težine); dok je određivanje teksturnih karakteristika obavljeno prema američkoj klasifikacija 'sitne zemlje' (čestice manje od 2mm) koristeći specifično konstruisan trougao za određivanje teksturnih tipova zemljišta (Ćirić, 1962).

Hemijske karakteristike pepela i zemljišta - Sadržaj rastvorljivih soli određen je merenjem električne provodljivosti (EC [dS m^{-1}]) u ekstraktu, pepeo (zemljište) : vodi = 1 : 5; Reakcija zemljišta u H_2O (aktivna kiselost) i 0.1M KCl (supstituciona kiselost) - (elektrometrijski); Hidrolitička kiselost (Y_1) po metodi Kappen; Suma adsorbovanih baza (S) po metod Kappen; Suma kiselih katjona (T - S); Totalni kapacitet adsorpcije (T); Stepen zasićenosti adsorptivnog kompleksa bazama (V) po Hissink; Ukupan azot po metodi Kjeldahl (Benton and Jones, 2001); Sadržaj fiziološki dostupnih oblika P_2O_5 i K_2O određen je metodom Kirsanov, odnosno Schachtschabell; količina ugljenika u pepelu (zemljištu) po metodi Tjurin (1965). Odnos C/N određen je računskim putem.

Oblik, veličina i hemijski sastav čestica pepela određivan je SEM mikroskopijom (JEOL, JSM - 6460LV), korišćenjem EDS programa (energetska-disperzivna spektrometrija), zajedno sa Oxford, INCA mikroanalitičkim sistemom sa posebnim softerom za tačkastu mikroanalizu i hemijsko mapiranje površine (US EPA, 2002). Uzorci su bili pripremljeni na traci ugljenika i naparavani zlatom uz pomoć BALTEC

SCD005, Sputter Coater. Čestice pepela su snimane u uslovima niskog vakuuma (50 kPa) u Back Scater modusu, na WD 10 mm i naponom ubrzanja od 10-20 KV.

3.5. Analiza hemijskih elemenata u pepelu, zemljištu i biljnom materijalu

Sadržaj hemijskih elemenata u pepelu, zemljištu i biljnom materijalu - Ukupni saržaj hemijskih elemenata (As, B, Se, Mo, Cu, Zn, Mn) u pepelu i zemljištu, kao i u biljnom materijalu (korenu i listu) je određivan prema metodi 3051 (US EPA 3051, 1994) i 3052 (US EPA 3052, 1996), pripremom uzoraka putem vlažne digestije u mikrotalasnoj peći (CEM, 39 MDS-2000). Zemljište i pepeo su sušeni i prosejani kroz sito od 0.5 mm. U teflonske sudove (tipa ACV – Advanced Composite vessels) je stavljeno 0.5 g zemljišta (pepela) i 10 ml HNO_3. Biljni materijal je sušen do konstantne težine (12h na 80°C) i potom samleven. U ACV posude bilo je stavljeno 0.4 g biljnog materijala, 12 ml HNO_3 i 4 ml H_2O_2. Temperatura svakog uzorka (pepela, zemljišta i biljnog materijala) je u roku od 5.5 min dostizala 180 ± 5°C, a zatim je održavana 10 min. Sadržaj hemijskih elemenata u pepelu, zemljištu i biljnom materijalu za analizu bio je određivan u pet ponavljanja (n = 5).

Dostupne frakcije hemijskih elemenata u pepelu i zemljištu su određivane pomoću DTPA (dietilen-triamin-pentaacetatna kiselina) prema Lindsay and Norvell (1978). Suvo i prosejano zemljište i pepeo (10 g) su rastvorani u 20 ml 5 mM DTPA / 100 mM TEA (trietanolamin) / 10 mM $CaCl_2$ x $2H_2O$, pri pH rastvora od 7.3. Takav rastvor je kontinuirano mućkan 2h, nakon toga profiltriran i stavljen u plastične bočice. Sadržaj dostupnih frakcija hemijskih elemenata u pepelu i zemljištu bio je određivan u pet ponavljanja (n = 5).

Analitičke procedure su testirane korišćenjem standardnog referentnog materijala: leteći pepeo (pepeo iz uglja, BCR – 038), zemljište (glina, ERM – CC141), trava (*Lolium perenne* L., ERM – CD281) nabavljeni od strane Instituta za Referentne Materijale i Merenja (*IRMM – Institute for Reference Materials and Measurements)*, a odobreni i sertifikovani od strane Evropske komisije (*JRC European Commission, European Commission – Joint Research Centre*, Belgium).

Koncentracije hemijskih elemenata u različitim vrstama substrata i biljnom materijalu su određivane na aparatu ICP-OES (Spectro Genesis). Koncentracije ukupnih i potencijalno dostupnih hemijskih elemenata u substratu, kao i koncentracije hemijskih elemenata u listu i korenu bile su izažene u μg/g suve težine.

Određen je **biokoncentracioni faktor (BCF)** koji definiše odnos između sadržaja elementa u korenu i sadržaja ukupne koncentracije u substratu ($[Element]_{koren}/[Element]_{pepeo\ ili\ zemljište}$), čime se dobija informacija o efikasnosti uklanjanja hemijskog elementa iz datog substrata. Određen je **translokacioni faktor (TF)** koji definiše odnos između sadržaja elementa u listu i sadržaja elementa u korenu ($[Element]_{list}/[Element]_{koren}$), čime se dobija informacija o efikasnosti biljaka da transportuju hemijske elemente iz korena u list. BCF i TF su izaženi u μg/g suve težine.

3.6. Analiza fizioloških i biohemijskih parametara biljaka

Efikasnost fotosinteze je određivana metodom indukovane fluorescencije hlorofila (Krause and Weis, 1991). **Kinetika fluorescencije hlorofila listova** merena je u poljskim uslovima pomoću portabl fluorimetra (Plant Stress Meter, Biomonitor S. C. I. AB, Sweeden). Pre merenja listovi su adaptirani na tamu 30 minuta, nakon čega je hlorofil ekscitiran 2s aktinskom svetlošću gustine fotona od 200-400 μmol $m^{-2}s^{-1}$. Mereni su sledeći parametri fluorescencije hlorofila PSII: Fo (minimalna fluorescencija koja predstavlja otvoreno stanje, kada su svi reakcioni centri PSII oksidovani); Fm (maksimalna fluorescencija koja predstavlja zatvoreno stanje, kada su reakcioni centri PSII redukovani); Fv (varijabilna fluorescencija, Fv=Fm-Fo); $t_{1/2}$ (polovina vremena od Fo do Fm); Fv/Fm (fotosintetička efikasnost koja se koristi kao mera fotosintetičke efikasnosti fotosistema II (PSII) i taj odnos je korelisan sa brojem funkcionalno aktivnih reakcionih centara PSII). Određivan je i odnos Fm/Fo. Svi parametri fluorescencije hlorofila su određeni u 20 ponavljanja (n = 20).

Sadržaj hlorofila (Chl *a*, Chl *b*, Chl *a*+*b*), odnos Chl *a*/*b* u listovima i sadržaj ukupnih karotenoida (Tot Carot) je određivan na sledeći način: odsečci listova stavljeni su u 1 ml DMSO (dimetil sulfoksid) rastvarača i zagrevani na 65°C do obezbojavanja. Zatim su merene absorbance (A) uzoraka na talasnim dužinama od 663 nm 645 nm i 480 nm na spektrofotometru (UV-visible spectrophotometer, Shimadzu UV-160). Pomoću dobijenih absorbanci (A), a na osnovu jednačina koje je

dao Arnon (1949) izračunavaju se koncentracije hlorofila, a prema jednačinama koje je dao Wellburn (1994) izračunavaju se koncentracije ukupnih karotenoida. Vrednosti pigmenata su izražene u mg/g suve težine. Sadržaj hlorofila i karotenoida u listovima je određen u pet ponavljanja (n = 5).

Sadržaj antocijana u listovima (Anthocyanin) je bio određivan prema Creasy (1968) i Proctor (1974). Odsečci listova bili su stavljeni u 1 ml DMSO rastvarača i zagrevani 2h na 65°C, zatim je dodano 0.5 ml 2N HCl i ponovo zagrevano 4h na 65°C. Merene su absorbance (A) uzoraka na talasnim dužinama 650 nm, 620 nm i 520 nm na spektrofotometru. Pomoću dobijenih absorbanci, a na osnovu jednačina izračunava se koncentracija antocijana. Antocijani su izraženi kao cyanidin-3-glucoside ekvivalenti u mg/g suve težine. Sadržaj antocijana u listovima je određen u pet ponavljanja (n = 5).

Malondialdehid (MDA) predstavlja finalni produkt peroksidacije lipida membrana u tkivima biljaka i indikator je oštećenja ćelijskih membrana. Sadržaj MDA u listovima je određivan prema Heath and Packer (1968) na sledeći način: sveži uzorci listova (0.5 g) bili su homogenizovani u 5 ml 80% etanola, nakon čega je dodavan 0.05 ml 2% butilovani hidroksitoulen u etanolu (BHT) radi sprečavanja oksidacije. Homogenat je centrifugiran 10 min pri brzini od 3000 x g na 4°C. Rastvor od 1 ml supernatanta, 0.5 ml 0.65% tiobarbiturne kiseline (TBA) i 0.5 ml 10% trihloracetatne kiseline (TCA) bio je zagrevan 15 min. na 95 °C, a zatim hlađen na ledu i ponovo centrifugiran 10 min. pri brzini od 3000 x g. Absorbanca ekstrakta je merena spektrofotometrijski na 450 nm, 532 nm i 600 nm. Količina MDA je izračunata prema jednačinama Blum and Ebercon (1981), Du and Bramlage (1992) i Hodges et al. (1999) i izražena je kao $nmolg^{-1}$ sveže težine. Sadržaj MDA u listovima određen je u pet ponavljanja (n = 5).

Sadržaj fenola, slobodnih, vezanih i ukupnih u listovima biljaka, određivan je prema metodi Đurđević et al. (2007 a,b). Ekstrakcija *slobodnih fenola* (visoko rastvorna frakcija fenola) je izvršena iz 2g suvog biljnog materijala kuvanjem u 80% etil alkoholu i etil acetatu. Ekstrakcija *vezanih fenola* (frakcije fenola koje su ili estri ili su vezane za polisaharide matrice ćelijskog zida ili su polimerizovani u lignin) je izvršena hidrolizom suvog ostatka u 2N HCl i prevođenjem u etil acetat. Sadržaj ukupnih fenola (slobodnih i vezanih) je određen spektrofotometrijski, korišćenjem Folin–Čokolto reagensa (Feldman and Hanks, 1968), merenjem absorbance ekstrakta plave boje na 660 nm. Kalibraciona kriva je izgrađena na osnovu različitih koncentracija ferulinske kiseline

(Serva, Nemačka). Vrednosti sadržaja fenola u listovima su izražene u mg/g suve težine. Sadržaj fenola u listovima određen je u pet ponavljanja (n = 5).

Sadržaj askorbinske kiseline (AsA) u listovima biljaka je određivan prema metodi Arya and Mahajan (1997). Sveži uzorci listova (0.5 g) bili su homogenizovani u 5 ml 5% metafosforne kiseline (MPA), nakon čega je dodavano 5 ml etilacetata. Rastvor od 1 ml ekstrakta, 1 ml feriamonijum sulfata (FAS) u kome je dodano 0.2 ml konc. HCl, 1 ml kinaldične kiseline i 1 ml piridina je zagrevan do pojave ružičaste boje. Posle dopune do 10 ml dejonizovanom vodom, C vitamin je ekstrahovan sa 9 ml hloroforma oko 30 s. Absorbanca rastvora merena je spektrofotometrijski na 380 nm. Na osnovu kalibracione krive i odovarajućeg preračuna dobijena je koncentracija askorbinske kiseline koja je izražena u mg/g sveže težine. Sadržaj AsA u listovima određen je u pet ponavljanja (n = 5).

Ukupna antioksidativna aktivnost u listovima biljaka određivana je korišćenjem **DPPH slobodnog radikala** (1,1-difenil-2-pikrilhidrazil) prema metodi Blois (1958), Hatano et al. (1988) i Brand-Williams et al. (1995). Sveži uzorci listova (0.5 g) su homogenizovani u 10 ml 95% etanola. Svaki uzorak je rađen u tri rastuće koncentracije (5, 25 i 50 µl) uz dodatak 0.5 ml DPPH i dopunjeno do 1 ml 95% etanolom. Nakon toga, rastvor je držan 30 min u sušnici na 27°C, a zatim je merena absorbanca na 517 nm na spektrofotometru. Niska absorbanca reakcionog rastvora ukazuje na visoku antioksidativnu aktivnost, što se može videti promenom boje rastvora iz purpurne u žutu. Parametar označen kao **efikasna koncentracija EC_{50}** definiše količinu antioksidanata u uzorku koja smanjuje koncentraciju DPPH slobodnog radikala za 50% i izražena je u mg/ml uzorka. Određivana je i ukupna antioksidativna aktivnost askorbinske kiseline i nekoliko fenolnih kiselina (*p*-kumarinska kiselina, ferulinska kiselina, vanilinska kiselina, siringinska kiselina i mešavina fenola), uzete kao referentni standardi radi poređenja antioksidativnog potencijala u listovima biljaka. Sadržaj ukupne DPPH antioksidativne aktivnosti u listovima je određen u pet ponavljanja (n=5).

3.7. Analiza morfoloških karakteristika listova biljaka

Morfološka analiza listova biljaka je zasnovana na opisivanju, karakterizaciji i fotografisanju svih promena i oštećenja listova. Stanje površinskih struktura listova je analizirano SEM mikroskopijom (JEOL, JSM-6460LV), korišćenjem EDS programa

(Oxford, INCA), metodom naparavanja zlatom (BALTEC SCD005, Sputter Coater). Uzorci površinskih struktura su snimani u uslovima niskog vakuuma (50 kPa) u Back Scater modusu, na WD 10 mm i naponom ubrzanja od 10-20 KV.

3.8. Statistička analiza

Statistička analiza obuhvatala je utvrđivanje srednje vrednosti (M) i standardne devijacije (SD) za svaki od izmerenih parametara na svim staništima i svim ispitivanim vrstama u toku maja, jula i avgusta 2009. godine. Na svakom staništu dvofaktorskom analizom varijansi (ANOVA) je utvrđivan stepen razlika u količini ukupnog sadržaja hemijskih elemenata i DTPA – dostupne frakcije hemijskih elemenata između staništa i sezone. Isto tako je kod svake vrste bila korišćena dvofaktorska ANOVA kako bi se utvrdio stepen razlika u vrednostima količine hemijskih elemenata u korenu i listu, efikasnost fotosinteze, količini pigmenata, MDA, AsA i ukupnoj DPPH antioksidativnoj aktivnosti, i to između staništa i sezone, kao i između vrste biljaka i sezone. Jednofaktorska ANOVA je korišćena tamo gde je sezona pulirana (spojena), kako bi se utvrdio stepen razlika u sadržaju ukupnih i DTPA – dostupnih frakcija hemijskih elemenata u pepelu i zemljištu, kao i u korenu i listu biljaka ali i u vrednostima efikasnosti fotosinteze, količine pigmenata, količine MDA i AsA, kao i ukupnoj DPPH antioksidativnoj aktivnosti između ispitivanih vrsta biljaka na staništima, da bi se dobila prosečna seyonska vrednost a time i ukupan fiziološki i biohemijski odgovor biljaka na stres. Da bi se ustanovilo postojanje statističkih razlika između pojedinačnih grupa korišćen je Bonferroni post-hoc test. Kanonijska diskriminaciona analiza je (CDA) je iskorišćena da pokaže značajnost i prirodu razlika između unapred definisanih grupa, pri čemu opisuje varijabilnost definisanih grupa na osnovu ispitivanih parametara i pruža mogućnost da se odrede varijable koje imaju najznačajniji uticaj u objašnjavanju razlika između grupa. Dobijeni rezultati prikazani su grafički na osnovu prve i druge diskriminacione funkcije (DC1 i DC2). U tabelama su dati standardizovani koeficijenti za kanonijske varijable i kumulativni procenat varijanse za svaku definisanu funkciju. Standardizovanim diskriminacionim koeficijentima omogućeno je detektovanje varijabli kojima se vrši razdvajanje između definisanih grupa. Statistička analiza dobijenih podataka obrađena je u statističkom paketu SYSTAT 7 (Systat Software, Inc. 2004).

4. OPŠTE KARAKTERISTIKE ISPITIVANIH VRSTA BILJAKA

4.1. Calamagrostis epigejos (L.) Roth.

Calamagrostis epigejos (L.) Roth. pripada familiji *Poaceae* (trava) i rodu *Calamagrostis* Adans. u kome ima oko 140 vrsta, rasprostranjenih uglavnom u umerenoj zoni Evrope i Azije (Vukičević, 1973; Rebele and Lechman, 2001). Ova vrsta je višegodišnja, busenasta biljka koja ima kratke i debele rizome, kao i debele i duge stolone (Slika 11). Stabljika je uspravna, visine od 60-150 cm. Listovi su zeleno-ljubičaste boje, ravni, dugi i hrapavi (Slika 11). Pripada životnoj formi hemikriptofita (a Meg-Alt.H caesp), a u horološkom pogledu holarktičkom areal tipu, odnosno evroazijskoj grupi flornih elemenata subborealno-meriodalne distribucije (Jovanović, 1994).



Slika 11. *Calamagrostis epigejos* (L.) Roth. (foto: http://www.plantilustrations.org; Gajić, G.).

Vrsta *C. epigejos* je u odnosu na vlažnost staništa submezofita (preferira mezofilna, ali uspešno raste i na kserofilnim staništima), u odnosu na svetlost je poluskiofita (raste u uslovima svetlosti, ali i senke), u odnosu na temperaturu je mezotermna (uspešno raste pri srednjoj godišnjoj temperaturi većoj od 20°C); u odnosu na kiselost zemljišta je neutrofilna (raste na neutralnim do slabo kiselim zemljištima), dok je u odnosu na količinu azota u zemljištu mezotrofna (Kojić et al., 1997). Ova vrsta se smatra

tolerantnom na sušu, visoke temperature, intenzivno zračenje i siromašno zemljište (Gloser and Gloser, 1996; Wang, 2007), kao i na toksičnost hemijskih elemenata, posebno teških metala Pb, Cu, Zn i N) (Madzhugina et al., 2008).

Ekološka amplituda vrste *C. epigejos* je veoma široka. Raste na livadama, pašnjacima i proređenim listopadnim i četinarskim šumama. Kao pionirska vrsta se često javlja na požarištima. Raste na različitim nadmorskim visinama od nizija do subalpskog pojasa, različitim geološkim podlogama i različitim tipovima zemljišta. Ova vrsta uspešno raste kako na pešćanim dinama u blizini vode, polusušnim stepama i pustinjama tako i u dubokoj senci četinarskih šuma, kao i na potpuno otvorenim osunčanim staništima, na oligotrofnim peskovitim zemljištima i na eutrofnim humusom bogatim zemljištima (Rebele and Lehman, 2001).

C. epigejos veoma brzo kolonizuje prirodna i antropogeno formirana staništa, kao što su šumske čistine ili deponije otpada (Rebele and Lehman, 2001; Gloser et al., 2004; Madzhugina et al., 2008). Naime, na takvim staništima, u kompeticiji sa drugim vrstama biljaka obrazuje visok, gust travni pokrivač koji opstaje godina. Na šumskim čistinama dolazi do akumulacije debelog sloja stelje koja se sporo razlaže, čime se sprečava spontana regeneracija šume, tako da i zasađene sadnice drveća takođe mogu biti ugrožene (Gloser et al., 2004). Ova vrsta poseduje neke karakteristike invazivnih vrsta, kao što je lako rasejavanje semena i vegetativno širenje dugačkim rizomima (Gloser et al., 2004). Izuzetno brz rast u rano proleće se može objasniti trošenjem uskladištenih azotnih jedinjenja, kao što su nitrati, slobodne amino kiseline i rastvorni proteini (Gloser et al., 2004). Značajne rezerve azota se nalaze u korenovima, dok rizomi imaju važnu ulogu pri transportu azotnih jedinjenja u listove (Kavanová and Gloser, 2005).

4.2. Festuca rubra L.

Festuca rubra L. (crveni vijuk) pripada familiji *Poaceae* i rodu *Festuca* koji obuhvata oko 200 vrsta koje su naročito rasprostranjene u umerenoj zoni. Vrsta *F. rubra* je rasprostranjena u Evropi, severnoj Africi, Aziji i Severnoj Americi (Gajić, 1973). Ova vrsta je višegodišnja busenasta trava. Korenov sistem je žiličast sa dobro razvijenim rizomima koji puze i šire se u zemljištu (Slika 12). Stabljika je visoka, kruta, glatka, visine od 15-100 cm (Slika 12). Listovi su svetlo-zelene boje, ravni i uski (Slika 12), sa

mnogo nerava, dok su prizemni listovi savijeni i sa manjim brojem nerava. *F. rubra* započinje svoj rast u rano proleće, sredinom leta raste sporije, da bi intenzivno rasla od kasnog leta sve do pojave mraza (Smoliak et al., 1981). Pripada životnoj formi hemikriptofita (a Mes-Meg H caesp), a u horološkom pogledu holarktičkom areal tipu, odnosno circum holarktičkoj grupi flornih elemenata (Jovanović, 1994).



Slika 12 . *Festuca rubra* L. (foto: http://chestofbook.com; Gajić, G.).

Vrsta *F. rubra* je u odnosu na ekološke faktore submezofita, poluskiofita, mezotermna, neutrofilna i mezotrofna (Kojić et al., 1997). Pojedini autori smatraju da je vrsta *F. rubra* tolerantna kako na sušu, tako i vlažnost, intezivnu svetlost, ali i senku (Hallsten et al., 1987), kao i na visok salinitet i zemljište siromašno nutrijentima (Smoliak et al., 1981). Raste na različitim tipovima zemljišta, od gline, ilovače do peskovitih zemljišta (Smoliak et al., 1981) pri čemu pH zemljišta može da se kreće od 4.5-6.0 (Vogel, 1981). Naseljava livade, pašnjake i područje niske kleke (Gajić, 1973), peskovite dine (Klinkhamer and DeJong, 1993), obalske litice i grebene, močvarna i slana staništa (Hallsten et al., 1987), kako prirodna tako i antropogena staništa (Voss, 1972).

F. rubra kolonizuje napuštene rudnike uglja, gde zemljište može da varira od mulja do gline i peska pomešanim sa ugljem (Russell, 1985). Nalazi se pored puteva i duž železničkih pruga (Smoliak et al., 1981). Često se koristi za sprečavanje erozije na irigacionim kanalima i nasipima. Sadi se u mešavini sa ostalim vrstama trava i leguminoza na narušenim staništima, gde može da odloži ili spreči obnavljanje drugih

vrsta biljaka (Willson, 1989). Širi se pretežno putem rizoma, ali ne stvara veliku količinu viabilnih semena (Roberts, 1981).

4.3. Dactylis glomerata L.

Dactylis glomerata L. (ježevica) pripada familiji *Poaceae* i rodu *Dactylis* koji obuhvata 5-6 vrsta koje su rasprostranjene u Evropi, Aziji i severnoj Africi (Jovanović, 1973). To je višegodišnja, busenasta biljka koja ima jako dobro razvijen koren, ali bez podzemnih rizoma (Hannaway et al., 1999). Korenov sistem prodire u dubinu, a rasprostire se do 46 cm u širinu (Gist and Smith, 1948). Stabljika je uspravna, kruta, visine od 30-120 cm. Listovi su ravni, dugački do 80 cm, zelene ili sivo-zelene boje (Slika 13). Odlikuje se umerenim rastom. Zelene bazalne rozete se održavaju i tokom zime (Dalke, 1941). Vreme koje je potrebno da se razvije potpuna busenasta forma je oko 12 do 18 meseci, kada se intenzivno i razvija ekstenzivan korenov sistem. Pripada životnoj formi hemikriptofita (a Meg H caesp), a u horološkom pogledu holarktičkom areal tipu, odnosno evroazijskoj grupi flornih elemenata (Jovanović, 1994).



Slika 13. *Dactylis glomerata* L. (foto: http://www.commons.wikimedia.org; Gajić, G.)

D. glomerata je kao i prethodno dve vrste submezofita, polusciofita i neutrofilna vrsta (Kojić et al., 1997). U odnosu na količinu azota u zemljištu zauzima prelazno mesto između mezotrofnih i eutrofnih biljaka. Neki autori ovu vrstu smatraju tolerantnom na sušu, toplotu, mraz i senku (Hannaway et al., 1999). Raste na različitim

tipovima zemljištima, od peskova, gline i ilovače, najbolje na svežim, bogatim zemljištem i tolerantna je na pH zemljišta od 5.6-8.4.

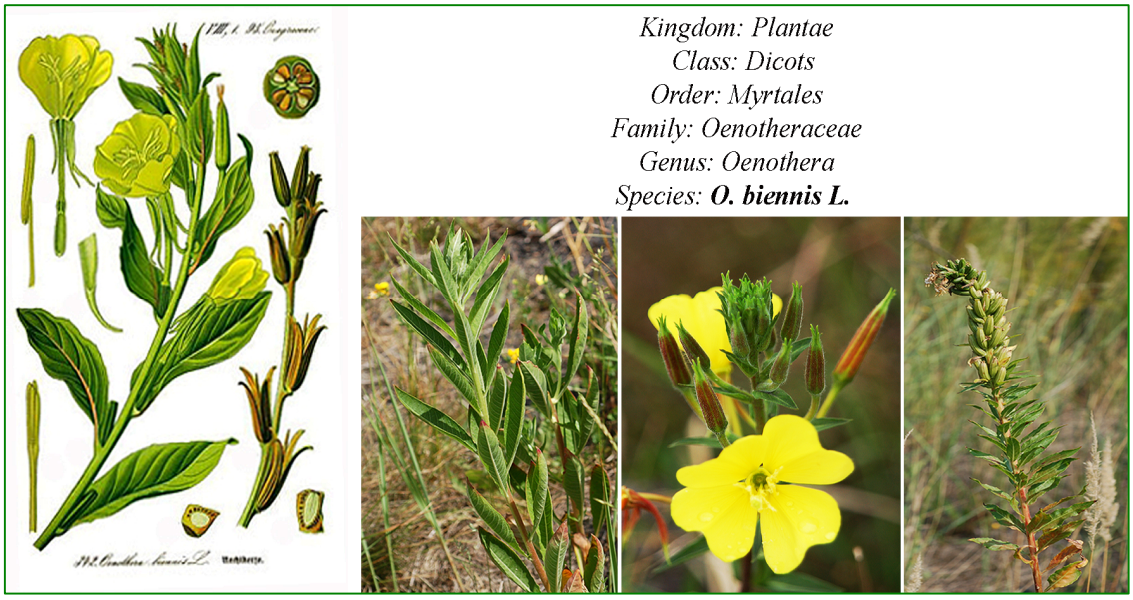
Naseljava livade, proplanke, mezokserofilne šume, a sreće se u poljoprivrednim kulturama, šikarama i kraj puteva (Jovanović, 1973). Često se sadi u kombinaciji sa drugim vrstama trava i leguminoza u cilju formiranja 'veštačkih' livada ili smanjivanja erozije na požarištima (McLean and Clark, 1980). Pogodna je vrsta za formiranje biljnog pokrivača u voćnjacima, zatim za stabilizaciju nasipa pored puteva i sadnju na odlagalištima otpada (Stubbendieck et al., 1986), kao i za obnavljanje staništa u okolini rudnika. Razmnožava se semenima, ali ne formira veliku količinu viabilnih semena (Grime, 1979).

4.4. Oenothera biennis L.

Oenothera biennis L. (žuti noćurak) pripada familiji *Oenotheraceae* i rodu *Oenothera* koji obuhvata oko 140 vrsta koje su rasprostranjene u umerenoj zoni, pre svega u Severnoj i Južnoj Americi, od Kanade na severu do Meksika na jugu (Diklić, 1973; Dietrich et al., 1997). Vrsta *O. biennis* je početkom 17. veka introdukovana u Italiju, u Botaničku baštu u Padovi, odakle se raširila po celoj Evropi. U Srbiji je prvi put zabeležio Pančić (1874), a kasnije Hayek (1926): Tipičan je predstavnik invazivnih neofita.

Ova vrsta je dvogodišnja biljka, visine od 30-150 cm. Koren je dobro razvijen, vretenast i mesnat. Tokom prve godine formiraju se široke, bazalne rozete od listova lanceolastog oblika. U drugoj godini se razvija stabljika koja je najčešće uspravna i nerazgranata ili u gornjem delu granata sa malim uskim, eliptičnim listovima svetlo zelene boje i centralnim nervom bele ili ljubičasto-crvene boje (Slika 14). Donji listovi stabljike su često crvene boje. Ponekad, na otvorenim staništima se formira više stabljika iz jedne rozete, što daje ovoj vrsti žbunastu formu. Cvetovi žute boje ostaju otvoreni od večernjih do rano jutarnjih sati, kao i tokom oblačnih i kišovitih dana. *O. biennis* započinje svoj rast u rano proleće, cveta od juna do avgusta i u jesen oslobađa veliki broj malih semena braon boje. Biljke cvetaju samo jednom. Pripada životnoj formi hemikriptofita (a Meg-Alt H scap bienn) (Jovanović, 1994).

O. biennis u odnosu na svetlost pripada prelaznoj grupi između poluskiofita i heliofita, u odnosu na temperaturu je mezotermna, a u odnosu na vlažnost staništa pripada subkserofitama. U odnosu na količinu azota u zemljištu svrstava se u prelaznu grupu između oligotrofnih i mezotrofnih biljaka, a u odnosu na kiselost zemljišta u prelaznu grupu između acidofilnih i neutrofilnih biljaka (Kojić et al., 1997). *O. biennis* je tolerantna na sušu, visoku i nisku temperaturu, raste na peskovitim i glinovitim zemljištima, preferira dobro drenirana zemljišta, može da raste na zemljištima koja su siromašna nutrijentima i na pH zemljišta od 6.1 – 7.8 (Dietrich et al., 1997).



Slika 14. *Oenothera biennis* L. (foto: http://www.pfaf.org; Gajić, G.).

O. biennis raste na otvorenim i antropogeno degradiranim staništima, pored puteva, železničkih pruga, deponijama otpada, ruderalnim staništima u blizini nasipa reka, i dinama (Dietrich et al., 1997; Mihulka et al., 2006; Jarić, 2009). Često se sreće u kombinaciji sa uspešnim primarnim kolonizatorima, pre svega dvogodišnjim i višegodišnjim korovskim vrstama biljaka. U Evropi ima status invazivne vrste i odlikuje se sledećim karakteristikama: visoka brojnost, klijanje semena se odvija u prisustvu svetlosti, visok fekunditet i visoka relativna brzina rasta korena i listova (Richardson et al., 2000). U odnosu na ostale vrste roda *Oenothera* ima najveći invazivni potencijal (Mihulka and Pyšek, 2001), međutim, veoma je slab kompetitor (Mihulka et al., 2006). Veoma je brojna na staništima koja su od napuštena do 4 godine, a njena brojnost se smanjuje sa povećanjem broja drugih vrsta i smanjivanjem praznog prostora (Gross and

Werner, 1982). Opstanak na staništima i sposobnost kolonizacije u najvećoj meri zavisi od produkcije velikog broja malih semena, čiji se broj kreće od 5000-12000 po individui (Gross, 1981; Dietrich et al., 1997), a koja ostaju vijabilna u zemljištu više od 80 godina (Gross and Werner, 1982). U uslovima nedostatka vode ili nutrijenata, ova vrsta može da opstane u stadijumu rozete nekoliko godina (Kachi and Hirose, 1983).

5. REZULTATI

5.1. FITOCENOLOŠKA ISTRAŽIVANJA DEPONIJE PEPELA 'TENT – A' U OBRENOVCU

Ispitivanje sastava biljnih vrsta, njihove brojnosti, pokrovnosti i stepena prisutnosti na deponijama pepela omogućava uvid u ekološki i floristički potencijal staništa u procesu biološke rekultivacije. Rast i opstanak biljaka na deponiji pepela je limitiran fizičko-hemijskim karakteristikama pepela, i nepovoljnim mikroklimatskim uslovima. Međutim, tokom vremena dolazi do spontane kolonizacije zeljastih i drvenastih vrsta biljaka koje se nalaze u neposrednom okruženju deponije. Analiza fitocenoloških karakteristika ispitivanih vrsta *C. epigejos*, *F. rubra*, *D. glomerata* i *O. biennis* na kasetama deponije pepela različite starosti je važno za procenu njihovog ekološkog potencijala u primarnoj sukcesiji biljaka.

Fitocenološka analiza deponije pepela TENT-A u Obrenovcu je pokazala da na nasipima i ravnim delovima kasete stare 3 godine (K3) i kasete stare 11 godina (K2) raste ukupno 122 vrsta biljaka. Broj biljnih vrsta se tokom vremena povećava kako na nasipima, tako i u unutrašnjosti kaseta (K3 i K2). Na nasipu K3 je zabeleženo 56 a u ravnom delu 62 vrsta. Na nasipu K2 je zabeleženo 79 a u ravnom delu 88 vrsta biljaka.

Na kasetama K3 i K2 dominiraju zeljaste biljke sa 88.5%, dok su drvenaste i žbunaste vrste prisutne sa 11.5%. Ukupno je zabeleženo 38 familija biljaka. Najbrojnije su: *Asteraceae* (32 vrste), *Fabaceae* (13 vrsta), *Poaceae* (11 vrsta), *Rosaceae* (7 vrsta), *Brassicaceae* (7 vrsta), *Oenotheraceae* (3 vrste), *Salicaceae* (3 vrste), *Chenopodiaceae* (3 vrste), *Caryophyllaceae* (3 vrste), *Scrophulariaceae* (3 vrste) i *Boraginaceae* (3 vrste). Od 8 biljnih vrsta koje su se nalazile u sastavu travno-leguminozne smeše zasejane na početku rekultivacionog procesa izvršenog na K2, posle 11 godina ostalo je 5 vrsta (*Festuca rubra, Dactylis glomerata, Vicia villosa, Medigaco sativa* i *Lotus corniculatis*), dok su 3 biljne vrste su nestale (*Lolium italicum*, *Secale cereale* i *Poa pratensis*). Na kaseti K3, posle 3 godine od zasnivanja zeljastog pokrivača, od 8 zasejanih ostalo je 6 vrsta (*Festuca rubra, Dactylis glomerata, Lolium italicum, Vicia villosa, Medigaco sativa* i *Lotus corniculatis*), a 2 vrste su nestale (*Secale cereale* i *Poa pratensis*).

Na Tabeli 3 je prikazana lista biljnih vrsta, zajednička ocena za brojnost i pokrovnost, i stepen prisutnosti biljaka na kasetama različite starosti (K3 i K2), na bazi 300 fitocenoloških snimaka i to 46 snimaka na nasipu K3, 83 snimka u unutrašnjosti K3, 101 snimak na nasipu K2 i 70 snimaka u unutrašnjosti K2.

Na **nasipu K3** najveći stepen brojnosti i pokrovnosti, kao i stepen prisutnosti ima 6 biljnih vrsta: *Erigeron canadensis* (2-7, IV), *Festuca rubra* (3-7, IV), *Sorghum halepense* (2-7, IV), *Secale cereale* (3-8, III), *Chenopodium album* (2-7, III) i *Echium vulgare* (3-8, III). Vrsta *Festuca rubra* pokriva od 5-50%, a vrste *Erigeron canadensis* i *Sorghum halepense* od 2-50% površine nasipa K3 i prisutne su u 60-80% snimaka. Vrste *Secale cereale* i *Echium vulgare* pokrivaju 5-75% površine, dok vrsta *Chenopodium album* pokriva od 2-50% površine, i prisutne su u 40-60% snimaka.

U **ravnom delu K3** zabeleženo je 7 vrsta koje imaju najveću brojnost, pokrovnost i stepen prisutnosti, i to su: *Festuca rubra* (2-9, V), *Dactylis glomerata* (2-9, V), *Medicago sativa* (2-8, V), *Erigeron canadensis* (2-9, IV), *Vicia villosa* (2-8, III), *Lotus corniculatus* (2-8, III) i *Polytrichum* sp. (2-9, III). Vrste *Festuca rubra* i *Dactylis glomerata* su najbrojnije i pokrivaju od 2-100% površine, a *Medicago sativa* od 2-75% površine i prisutne su u 80-100% snimaka. Vrsta *Erigeron canadensis* pokriva od 2-100% površine u ravnom delu K3 i prisutna je u manjem broju snimaka, od 60-80%. Vrsta *Polytrichum* sp. pokriva od 2-100% površine, *Vicia villosa* od 2-75% površine i *Lotus corniculatus* od 2-25% površine unutar K3, a sve tri vrste su prisutne u 40-60% snimaka.

Na kaseti K2 zabeleženo je 26 biljnih vrsta koje se javljaju samo na ravnom delu kasete i nema ih ni na nasipima deponija pepela, niti unutar K3 i to su: *Hypochoeris radicata*, *Leucanthemum vulgare, Tussilago farfara, Achillea millefolium, Solidago serotina, Medicago lupulina, Vicia sativa, Trifolium arvense, Phragmites communis, Potentilla reptans, Sanguisorba minor, Verbascum blattaria, Epilobium hirsutum, Salix alba, Lappula echinata, Pastinaca sativa, Equisetum arvense*, *Equisetum sylvaticum, Mentha longifolia, Lycopus europaeus, Carex hirta, Centaurium erythraea, Erodium cicutarium, Lythrum salicaria, Adonis flammea* i *Verbena officinalis.* Njihova pojava je rezultat spontane kolonizacije deponije pepela tokom 11 godina nakon zasnivanja vegetativnog pokrivača.

Na **nasipu K2**, najveću brojnost, pokrovnost i stepen prisutnosti ima 5 biljnih vrsta i to: *Sorghum halepense* (2-9, IV), *Oenothera biennis* (2-9, IV), *Silene vulgaris* (2-8, III), *Echium vulgare* (2-8, III) i *Lotus corniculatus* (2-5, III). Tako vrste *Sorghum halepense* i *Oenothera biennis* pokrivaju površinu nasipa od 2-100% i nalaze se u 60-80% snimaka. Vrste, *Silene vulgaris* i *Echium vulgare* pokrivaju od 2-75% površine, a *Lotus corniculatus* od 2-25% posmatrane površine i prisutne su u 40-60% snimaka.

U **ravnom delu K2** zabeleženo je 8 biljnih vrsta koje imaju najveću brojnost, pokrovnost i stepen prisutnosti a to su: *Calamagrostis epigejos* (2-9, V), *Oenothera biennis* (2-9, V), *Tamarix tetandra* (2-8, V), *Cirsium arvense* (2-8, IV), *Populus alba* (2-9, III), *Festuca rubra* (3-8, III), *Crepis setosa* (2-7, III) i *Erigeron canadensis* (2-7, III). Tako, *Calamagrostis epigejos*, *Oenothera biennis* imaju najveću brojnost i pokrivaju od 2-100% površine, a *Tamarix tetandra* od 2-75% površine kasete i prisutne su u 80-100% snimaka. Vrsta *Cirsium arvense* pokriva od 2-75% površine i nalazi se u 60-80% snimaka. Vrsta *Populus alba* pokriva od 2-100% površine, *Festuca rubra* od 5-75% površine, *Crepis setosa* i *Erigeron canadensis* od 2-50% povšine unutar K2, a sve su prisutne u 40-60% snimaka.

Fitocenološka analiza deponije pepela TENT-A u Obrenovcu je pokazala da se broj biljnih vrsta tokom vremena povećavao. Od vrsta koje su spontano kolonizovale prostor kasete K2 najviše su bile zastupljene vrste *C. epigejos* i *O. biennis*.

Tabela 3. Vrste, brojnost (B) i stepen prisutnosti (SP) biljaka na pasivnim kasetama različite starosti (K2 i K3) deponije pepela TENT-A u Obrenovcu.

Vrste	K3 - nasip		K3 – ravan deo		K2 - nasip		K2 – ravan deo	
	B	SP	B	SP	B	SP	B	SP
Asteraceae								
Tragopogon dubius Scop.	2	I	-	-	2	I	2-3	I
Erigeron canadensis L.	2-7	IV	2-9	IV	2-3	I	2-7	III
Hypochoeris radicata L.	-	-	-	-	-	-	2-3	I
Cirsium arvense (L.) Scop.	2-8	I	2-3	I	2-7	I	2-8	IV
Anthemis arvensis L.	-		2 -3	I	2 - 3	I	2	I
Carduus acanthoides L.	2-3	I	-	-	2-5	II	2-5	I
Stenactis annua (L.) Ness.	2	I	2-3	I	2-5	I	2-5	II
Crepis biennis L.	-	-	2-5	I	-	-	2-5	II
Cirsium lanceolatum (L.) Scop. (non Hill)	2-3	I	2-3	I	2	I	2-5	II
Leucanthemum vulgare Lam.	-	-	-	-	-		2	I
Eupathorium cannabinum L.	2	I	2	I	2-3	I	2-3	I
Tussilago farfara L.	-	-	-	-	-	-	3-7	I
Achillea millefolium L.	-	-	-		-	-	2-3	I
Crepis setosa Hall.	-	-	2-8	I	3	I	2-7	III
Carlina vulgaris L.	-	-	-	-	2-3	I	2-7	II
Cichorium intybus L.	2-3	I	2	-	2-3	I	2-3	I
Senecio erucifolius L.	-	-	2	I	2	I	2-3	I
Hieracium pilosella L.	-	-	2-3	I	3-5	I	2-5	I
Artemisia vulgaris L.	2-3	I	-	-	2	I	2	I
Ambrosia artemisifolia L.	2-5	I	3	I	2-5	I	2-7	I
Sonchus arvensis L.	2-5	III	3-5	I	2-5	I	3-7	I
Xantium strumarium L.	2-5	I	2	I	2-3	I	2-7	I
Helianthus tuberosus L.	-	-	-	-	8	I	7-8	I
Chondrilla juncea L.	-	-	2-3	I	-	-	2	I
Solidago serotina Ait.	-	-	-	-	-	-	3	I
Centaurea cyanis L.	-	-	2	I	2	I	-	-
Anthemis cotula L.	2-3	I	-	-	2-3	I	-	-
Picris hieracioides L.	-	-	-	-	2	I	-	-
Lactuca serriola Torn.	2	I	2	I	-	-	-	-
Sonchus asper (L.) Mill.	-	-	2	I	-	-	-	-
Taraxacum officinale Web.	-	-	2-3	I	-	-	-	-
Crepis foetida ssp. *rhoedifolia* M.B.	2-3	I	-	-	-	-	-	-
Fabaceae								
Amorpha fruticosa L.	2-7	I	2-3	I	2-8	II	2-7	II
Medicago lupulina L.	-	-	-		-		2-3	I
Vicia villosa Roth	2-3	I	2-8	III	3-8	I	2-3	I
Lotus corniculatus L.	2-5	III	2-5	III	2-5	III	2-7	I
Trifolium pratense L.	2	I	2	I	2-5	I	2	I
Medicago sativa L.	2-5	IV	2-8	V	2-5	I	2-5	I
Gleditschia triacanthos L.	-	-	-	-	2-5	I	2	I
Melilotus albus Med.	-	-	2-5	I	2-7	I	2-8	I
Melilotus officinalis (L.) Pall.	2-5	I	2-5	I	3	I	-	-
Robinia pseudoacacia L.	2-8	II	2	I	2-8	II	3	I
Vicia sativa L.	-	-	-	-	-	-	2	I
Trifolium arvense L.	-	-	-	-	-	-	2	I
Trifolium repens L.	-	-	5	I	-	-	-	-
Poceae								
Calamagrostis epigejos (L.) Roth.	2-5	I	5	I	2-8	II	2-9	V
Festuca rubra L.	3-7	IV	2-9	V	2-7	I	3-8	III
Sorghum halepense (L.) Pers.	2-7	IV	5-8	I	2-9	IV	3-9	I
Dactylis glomerata L.	2-5	III	2-9	V	2-3	I	2	I
Phragmites communis Trin.	-	-	-	-	-	-	3	I
Arrhenatherum elatius (L.) P. Beauv. ex J. Presl & C. Presl	3-7	II	-	-	2-9	I	-	-
Lolium italicum L.	-	-	2-3	I	5-9	I	-	-
Secale cereale L.	3-8	III	-	-	7-8	I	-	-
Festuca pratensis Huds.	2	I	3-5	I	2	I	-	-
Bromus arvensis L.	3	I	-	-	3	I	-	-

Hordeum vulgare L.	3	I	-	-	-	-	-	-
Rosaceae								
Rubus caesius L.	2	I	-	-	2	I	2	I
Potentilla argentea L.	-	-	-	-	2	I	2-7	I
Potentilla reptans L.	-	-	-	-	-	-	3	I
Rosa canina L.	2	I	-	-	2	I	2	I
Sanguisorba minor Scop.	-		-		-		1	I
Aremonia agrimonioides (L.) DC.	-	-	-	-	2	I	-	-
Prunus sp.	2	I	-	-	2-3	I	-	-
Brassicaceae								
Rorippa silvestris (L.) Bes.	-	-	2-5	I	2-5	I	2	I
Sinapis arvensis L.	2-8	II	2-9	II	2-3	I	2	I
Descurainia sophia (L.) Webb ex Prantl	-	-	-	-	3-5	I	-	-
Capsella bursa pastoris (L.) Med.	-	-	-	-	2-5	I	-	-
Raphanus sativus L.	2	I	-	-	2-5	I	-	-
Berteroa incana (L.) DC.	-	-	-	-	2	I	-	-
Thlaspi arvense L.	-	-	2	I	-	-	-	-
Caryophyllaceae								
Silene vulgaris (Moench) Garcke	2-7	II	2-5	II	2-8	III	2-3	I
Petrorhagia prolifera (L.) P. W. Ball et Heywood	2-5	I	2-5	I	2-5	I	2-5	II
Melandrium album (Mill.) Garcke	2-3	II	2-3	II	2-3	I	2	I
Scrophulariaceae								
Verbascum blattaria L.	-	-	-	-	-	-	5	I
Verbascum phlomoides L.	2	I	2	I	2-3	I	2-5	II
Linaria vulgaris Mill.	-	-	-	-	2-7	I	3-8	I
Chenopodiaceae								
Salsola kali L.	2-5	I	2-7	II	2-5	II	2-5	I
Chenopodium album L.	2-7	III	2-5	II	2	I	2	I
Chenopodium botrys L.	-	-	2-7	I	-	-	-	-
Oenotheraceae								
Oenothera biennis L.	2-7	II	2-7	II	2-9	IV	2-8	V
Epilobium hirsutum L.	-	-	-	-	-	-	2-5	I
Epilobium collinum C. C. Gmel.	-	-	2-5	-	-	-	2-5	I
Salicaceae								
Populus alba L.	-	-	7	I	2-3	I	2-9	III
Populus euroamericana (Dode)Guin	2-5	I	2	I	5-5	I	2-5	I
Salix alba L.	-	-	-	-	-	-	2	I
Boraginaceae								
Echium vulgare L.	3-8	III	2-5	I	2-8	III	2-5	II
Lappula echinata Gilib.	-	-	-	-	-	-	2	I
Myosotis arvensis (L.) Hill.	-	-	2	I	2	I	-	-
Apiaceae								
Pastinaca sativa L.	-	-	-	-	-	-	2	I
Daucus carota L.	2	I	2-3	I	2-7	II	2-5	I
Asclepidaceae								
Asclepias syriaca L.	-	-	-	-	2-3	I	2-3	I
Cynanchum vincetoxicum Pers.	-	-	-	-	2	I	-	-
Equisetaceae								
Equisetum sylvaticum L.	-	-	-	-	-	-	2	I
Equisetum arvense L.	-	-	-	-	-	-	3-9	I
Lamiaceae								
Mentha longifolia L. Nath.	-	-	-	-	-	-	2	I
Lycopus europaeus L.	-	-	-	-	-	-	3	I
Moraceae								
Morus nigra L.	-	-	-	-	2	I	-	-
Morus alba L.	-	-	-	-	2-3	I	-	-
Polygonaceae								
Rumex acetosella L.	3	I	3-7	I	2-7	I	2-3	I

Rumex obtusifolius L.	-	-	2-3	I	-	-	2	I
Aceraceae								
Acer negundo L.	-	-	-	-	2	I	-	-
Amaranthaceae								
Amaranthus retroflexus L.	2-3	I	2-5	I	-	-	-	-
Hypericaceae								
Hypericum perforatum L.	3	I	-	-	2-5	I	2-5	II
Cannabaceae								
Humulus lupulus L.	-	-	-	-	2	I	2-3	I
Cyperaceae								
Carex hirta L.	-	-	-	-	-	-	2	I
Elaegnaceae								
Eleagnus angustifolia L.	2	I	-	-	2-3	I	-	-
Euphorbiaceae								
Euphorbia cyparissias L.	2	I	-	-	2	I	2	I
Gentiaceae								
Centaurium erythraea Rafn.	-	-	-	-	-	-	2-3	II
Geraniaceae								
Erodium cicutarium (L.) L'Hér. ex Aiton.	-	-	-	-	-	-	2	I
Lythraceae								
Lythrum salicaria L.	-	-	-	-	-	-	2	I
Ranunculaceae								
Adonis flammea Jacq.	-	-	-	-	-	-	2	I
Rubiaceae								
Galium mollugo L.	-	-	2	I	-	-	2	I
Resedaceae								
Reseda lutea L.	-	-	2-3	I	-	-	2-3	I
Tamaricaceae								
Tamarix tetandra L.	3-7	I	-	-	2-7	II	2-8	V
Plantaginaceae								
Plantago lanceolata L.	2-5	III	2-3	I	2-7	II	2	I
Papaveraceae								
Papaver rhoeas L.	-	-	2	I	-	-	-	-
Portulaceae								
Portulaca oleracea L.	-	-	7	I	-	-	-	-
Phytolaccaceae								
Phytolacca americana L.	3	I	-	-	-	-	-	-
Solanaceae								
Solanum nigrum L.	-	-	-	-	2	I	-	-
Vitaceae								
Vitis sylvestris Gmel.	2-3	I	2	I	2-5	I	2-7	I
Verbenaceae								
Verbena officinalis L.	-	-	-	-	-	-	2	I
Polytrichaceae								
Polytrichum sp.	2-5	I	2-9	III	5	I	2-5	I

5.1.1. Fitocenološke karakteristike ispitivanih biljaka na deponiji pepela TENT-A u Obrenovcu

Na kaseti staroj 11 godina (K2) zabeleženo je da spontano kolonizovana vrsta ***C. epigejos*** dominira prostorom unutar K2, obrazujući visok, gust zeljasti pokrivač. Brojnost, pokrovnost i stepen prisutnosti ove vrste na nasipima K2 i K3 pokazuje da *C. epigejios* tokom vremena postepeno osvaja i prostor K3 koja je stara tek 3 godine (Tabela 4).

Vrsta ***O. biennis*** zajedno sa *C. epigejos* dominira u unutrašnjosti kasete K2. Veća brojnost, pokrovnost i stepen prisutnosti *O. biennis* na nasipima K3 i K2, kao i u unutrašnjosti K3 u odnosu na *C. epigejos* ukazuje na veliki invazivni potencijal ove vrste (Tabela 4).

Vrsta ***F. rubra*** se nalazila u travno-leguminoznoj smeši na početku rekultivacionog procesa na obe kasete, te na K3 ova vrsta pokriva do 100% površine i prisutna je u 80-100% snimaka (Tabela 4). Unutar K2, 11 godina nakon setve, stepen pokrovnosti i prisutnosti su smanjeni usled kompeticije sa invazivnom vrstom *C. epigejos*. Relativno visoka pokrovnost ove vrste na kaseti manje starosti na kojoj vladaju oštriji uslovi može da ukaže da je *F. rubra* tolerantna na stresne uslove na staništu u prvim fazama rekultivacije.

Vrsta ***D. glomerata*** se takođe nalazila u travno-leguminoznoj smeši. Posle 3 godine od setve, unutar K3 zabeleženi su visoka pokrovnost i stepen prisutnosti. Nakon 11 godina, na nasipu i ravnom delu K2, pokrovnost i stepen prisutnosti ove vrste je značajno smanjena, ukazujući da *D. glomerata* tokom vremena biva potisnuta i zamenjena drugim vrstama biljaka (Tabela 4).

Tabela 4. Brojnost (B) i stepen prisutnosti (SP) ispitivanih biljaka na pasivnim kasetama (K3 i K2) deponije pepela različite starosti TENT-A u Obrenovcu.

Vrste	**K3 nasip**		**K3 ravan deo**		**K2 nasip**		**K2 ravan deo**	
	B	**SP**	**B**	**SP**	**B**	**SP**	**B**	**SP**
***Calamagrostis epigejos* (L.) Roth.**	2-5	I	5	I	2-8	II	2-9	V
***Festuca rubra* L.**	3-7	IV	2-9	V	2-7	I	3-8	III
***Dactylis glomerata* L.**	2-5	III	2-9	V	2-3	I	2	I
***Oenothera biennis* L.**	2-7	II	2-7	II	2-9	IV	2-8	V

Fitocenološka analiza je pokazala da se sejane vrste *F. rubra* i *D. glomerata* na K3 odlikuju najvećom brojnošću i stepenom prisutnosti, dok spontano kolonizovane vrste *C. epigejos* i *O. biennis* osvajaju prostor na K2.

5.2. FIZIČKO - HEMIJSKE KARAKTERISTIKE PEPELA I ZEMLJIŠTA

5.2.1. Fizičke karakteristike pepela i zemljišta

Na aktivnoj kaseti (K1) na dubini od 0 - 10 cm frakcija sitnog peska (čestice veličine od 0.06 - 0.02mm) je najveća i iznosi 62.94%, zatim sledi frakcija krupnog peska (čestice veličine od 2.0 - 0.2mm) od 25.57% (Tabela 5). Frakcije praha (čestice veličine od 0.06 - 0.002mm) su manje i kreću se od 0.40 – 8.60%. Frakcija gline (čestice <0.002mm) je mala i iznosi svega 1.80%. Na aktivnoj deponiji pepela dominira frakcija ukupnog peska od 97.10%, dok je ukupna frakcija glina + prah veoma mala (2.90%) (Tabela 5). Zbog visokog sadržaja ukupnog peska na K1, procenat higroskopne vlage je jako nizak i iznosi 0.54%. Na osnovu sadržaja ukupnog peska, praha i gline, aktivna deponija pepela je **peskovitog** mehaničkog sastava. Ovakav teksturni sastav čini da pepeo ima veliku propustljivost za vodu, ali da je dobro aerisan.

Na kaseti K3, frakcija krupnog peska na dubini od 0 - 50 cm ima tendenciju smanjivanja, od 20.50 - 3.65% (Tabela 5). Frakcija sitnog peska je najveća u površinskom sloju i smanjuje se sa dubinom (68.94-23.82%). Frakcije praha su manje u odnosu na frakcije peska i kreću se 0.10 – 5.83% u površinskom delu, i imaju tendenciju povećanja sa dubinom. Frakcija gline je mala i ima tendenciju povećanja od površine ka nižim delovima substrata (0.87 – 1.73%). Kao i na aktivnoj kaseti, i na K3 najveći procenat čini ukupni pesak koji je veći u površinskom sloju pepela, a smanjuje se sa dubinom (95.27 – 44.10%) (Tabela 5). Ukupna frakcija glina + prah je mala na dubini od 0 - 10 cm (4.73%), ali raste sa povećanjem dubine (15.99 – 55.90%) (Tabela 5). Procenat higroskopne vlage je nizak i ima tendenciju povećanja sa dubinom (0.38-2.76%), što je rezultat smanjivanja procenta ukupnog peska, a povećanja frakcije glina+ prah sa dubinom. Na osnovu dobijenih frakcija, kaseta K3, stara 3 godine, je **peskovitog** mehaničkog sastava, kao i aktivna kaseta K1.

Na kaseti K2, procenat frakcije krupnog i sitnog peska je manji na dubini od 0 – 10 cm u odnosu na K1 i K3 (1.53% i 36.21%), ali za razliku od K3 procenti ovih frakcija

se povećavaju sa dubinom (4.12 – 26.61% i 52.21 – 68.39%) (Tabela 5). Količina praha u sve tri frakcije u površinskom sloju od 0 – 10 cm je veća (16.44%, 40.46% i 2.30%) u odnosu na K1 i K3 i ima tendenciju opadanja sa dubinom (Tabela 5). Frakcija gline na dubini od 0 – 10 cm iznosi 3.06% i veća je u odnosu na K1 i K3 i u odnosu na K3 smanjuje se sa dubinom. Procenat ukupnog peska je značajno manji u površinskom sloju (54.18%) u odnosu na K1 i K3 i ima tendenciju povećanja sa dubinom. Ukupna frakcija glina + prah je takođe značajno veća u površinskom sloju (45.82%) u odnosu na K1 i K3 i smanjuje se sa dubinom (Tabela 5). Zbog relativno niskog sadržaja ukupnog peska i nešto veće količine gline + praha, sadržaj higroskopne vlage na deponiji pepela K2 je veći na dubini od 0 – 10 cm u odnosu na K1 i K3 i iznosi 2.84% (Tabela 5). Sa većim dubinama taj procenat se smanjuje (2.14 – 0.41%). Kaseta K2, stara 11 godina, je prema mehaničkom sastavu **peskovita ilovača**. Frakcija praha je dominantna i ona prema svojim osobinama čini prelaz između peska i gline. Prah se odlikuje svojstvom kapilarnosti, a količina koloida je nedovoljna da bi se obezbedila agregiranost. Struktura praškastih substrata ne obezbeđuje dobru aeraciju i vodopropustljivost.

Na kontrolnom staništu, **na nasipu reke Kolubare (K_{Ko})**, procenat frakcije krupnog i sitnog peska je u površinskom sloju zemljišta značajno manji (0.52% i 4.64%) u odnosu na deponiju pepela (Tabela 5). Procenat obe frakcije peska se prvo smanjuje sa dubinom, a zatim se povećava. Na dubini od 0–10 cm, procenat prve frakcije praha je manji (5.48%) u odnosu na sve tri kasete deponije pepela, procenat druge frakcije je sličan (40.14%) kao na kaseti K2, a procenat treće frakcije praha je veći (14.85%) u odnosu na pepeo sve tri kasete (Tabela 5). Sa dubinom procenti sve tri frakcije praha imaju tendenciju smanjivanja. Frakcija gline (koloidnih čestica) je značajno veća na svim dubinama u odnosu na pepeo i kreće se od 34.38 – 40.42% (Tabela 5) Frakcija ukupnog peska je značajno manja na svim dubinama zemljišta u odnosu na pepeo i vrednosti se kreću od 6.33–19.00%. Ukupna frakcija glina + prah je veća na svim dubinama (81.00 – 93.67%) u odnosu na pepeo. Usled visokog procenta gline i praha, a manjeg procenta peska, zabeležene su visoke vrednosti higroskopne vlage na svim dubinama zemljišta (2.98 – 3.68%) (Tabela 5). Dobijene frakcije ukazuju da je zemljište na nasipu reke Kolubare **praškasto-glinovita ilovača**. Glina slabo propušta vodu, a zajedno sa koloidima predstavlja najaktivniji deo zemljišta. Odlikuje se velikom sposobnošću adsorpcije.

Na kontrolnom staništu, u **Botaničkoj bašti (K_{Bb})**, u površinskom sloju zemljišta, frakcija krupnog peska je veća u odnosu na K_{Ko} i K2, a manja u odnosu na K1 i K3 i iznosi 10.08% (Tabela 5) Frakcija sitnog peska je veća u odnosu na K_{Ko}, a manja u odnosu na pepeo i iznosi 27.02% (Tabela 5). Prva frakcija praha je veća u poređenju sa sve tri kasete i K_{Ko} (20.30%); druga frakcija praha je veća u odnosu na K1 i K3, a manja u odnosu na K2 i K_{Ko} (18.80%); treća frakcija praha je veća u odnosu na deponije pepela, a manja u odnosu na K_{Ko} (9.20%) (Tabela 5). Procenat gline od 14.60% je značajno veći u odnosu pepeo deponija, a manji u odnosu na K_{Ko}. Frakcija ukupnog peska je manja u odnosu na K1 i K3, slična sa K2, a značajno veća u odnosu na K_{Ko} (57.40%) (Tabela 5). Frakcija glina + prah je veća u odnosu na K1 i K3, slična sa K2, a manja u odnosu na K_{Ko} (42.60%). Zbog većeg procenta gline + praha, procenat higroskopne vlage je relativno visok i iznosi 2.53% (Tabela 5). Količina vlage je veća u odnosu na K1 i K2, slična sa K2, a manja u odnosu na K_{Ko}. Na osnovu dobijenih frakcija zemljište u Botaničkoj bašti pripada tipu **ilovače**. Mehaničke osobine ovakvog zemljišta čine ga dobro dreniranim i dobro aerisanim.

Na kontrolnom staništu, na **Bežanijskoj kosi (K_{Bk})**, frakcija krupnog peska od 2.75% je veća u odnosu na K2 i K_{Ko}, a manja u odnosu na K1, K3 i K_{Bb}; frakcija sitnog peska od 20.55% je manja u odnosu na deponije pepela i K_{Bb}, a veća od K_{Ko} (Tabela 5). Procenat prve frakcije praha od 23.30% je najveći u odnosu na sva staništa; procenat druge frakcije praha od 18.00% je veći u odnosu na K1 i K3, manji u odnosu na K2 i K_{Ko}, a sličan sa K_{Bb}; procenat treće frakcije praha od 10.30% je veći u odnosu na pepeo i K_{Bb}, a manji u odnosu na K_{Ko} (Tabela 5). Frakcija gline je veća na kasetama pepela i K_{Bb}, a manja od K_{Ko} (25.10%) (Tabela 5). Procenat ukupnog peska od 46.60% je manji u odnosu na sva staništa, izuzev na K_{Bb}. Procenat glina + prah od 53.40% je veći u odnosu na sva staništa, izuzev na K_{Ko}. Usled veće količine gline i praha, procenat higroskopne vlage od 2.55% je visok (Tabela 5). Količina vlage je veća u poređenju sa K1 i K3, manja u odnosu na K2 i K_{Ko}, i slična sa K_{Bb} (Tabela 5). Zemljište na Bežanijskoj kosi je **peskovita ilovača**.

Tabela 5. Fizičke karakteristike pepela na aktivnoj kaseti deponije pepela (K1), pasivnim kasetama različite starosti (K3 i K2) deponije pepela TENT-A u Obrenovcu i zemljišta na kontrolnim staništima (K_{Ko}, K_{Bb} i K_{Bk}).

Površina	Dubina (cm)	Higroskopna vlaga (%)	Granulometrijski sastav (%)							
			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	<0.002 mm	Ukupan pesak	Glina+ prah
K1	0-10	0.54	25.57	62.94	8.60	0.70	0.40	1.80	97.10	2.90
K3	0-10	0.38	20.50	68.94	5.83	3.76	0.10	0.87	95.27	4.73
	10-20	0.58	12.00	63.68	8.33	14.97	0.19	0.83	84.01	15.99
	20-30	0.71	8.60	45.89	16.18	23.98	3.52	1.83	70.67	29.33
	30-40	0.82	3.61	27.52	14.54	47.59	5.60	1.14	45.67	54.33
	40-50	2.76	3.65	23.82	16.63	49.22	4.95	1.73	44.10	55.90
K2	0-10	2.84	1.53	36.21	16.44	40.46	2.30	3.06	54.18	45.82
	10-20	2.14	4.12	52.21	17.90	21.81	1.46	2.50	74.23	25.77
	20-30	1.87	7.81	69.48	9.11	11.70	0.04	1.86	86.40	13.60
	30-40	1.14	13.23	70.88	5.61	8.37	0.08	1.83	89.72	10.28
	40-50	0.41	26.61	68.39	1.80	1.85	0.10	1.25	96.80	3.20
K_{Ko}	0-10	3.68	0.52	4.64	5.48	40.14	14.84	34.38	10.64	89.36
	10-25	3.29	0.15	1.10	5.08	40.20	15.32	38.15	6.33	93.67
	25-50	2.98	0.11	2.05	5.67	36.58	15.39	40.20	7.83	92.17
	50-80	3.13	0.77	7.57	3.39	32.40	15.45	40.42	11.73	88.27
	80-115	3.51	1.93	12.75	4.32	31.59	13.35	36.06	19.00	81.00
K_{Bb}	0-10	2.53	10.08	27.02	20.30	18.80	9.20	14.60	57.40	42.60
K_{Bk}	0-10	2.55	2.75	20.55	23.30	18.00	10.30	25.10	46.60	53.40

5.2.2. Hemijske karakteristike pepela i zemljišta

Vrednost **elektroprovodljivosti (EC)** od 0.352 dS/m je u površinskom sloju najveća na aktivnoj kaseti (K1) u odnosu na pasivne kasete deponije pepela i kontrolna staništa ukazujući da se ova kaseta odlikuje najvećom količinom rastvorljivih soli. Vrednost EC ima tendenciju povećanja sa dubinom, tako da se EC vrednosti na K3 kreću od 0.203 dS/m u površinskom sloju do 0.294 dS/m u donjim slojevima pepela, a na K2 od 0.184 dS/m do 0.238 dS/m. Količina rastvorljivih soli na K_{Ko} od 0.169 dS/m je manja u odnosu na K1, K3 i K2 i ima dinamiku smanjivanja sa dubinom (do 0.095 dS/m). Vrednost EC od 0.306 dS/m na staništu K_{Bb} je bila manja u odnosu na K1, a veća u odnosu na K3 i K2 (Tabela 6). Količina rastvorljivih soli na K_{Bk} od 0.186 dS/m je manja u odnosu K1, K3 i K_{Bb}, slična sa K2, a veća u odnosu na K_{Ko} (Tabela 6).

Vrednost **aktivne kiselosti** (**pH u vodi)** od 8.03 u površinskom sloju na aktivnoj kaseti (K1) ukazuje na baznu reakciju pepela. Na pasivnim kasetama dolazi do smanjivanja pH vrednosti u pepelu, tako da pH u vodi na K3 iznosi 7.78, a na K2 je 7.72 što ukazuje na slabo baznu reakciju. Ove vrednosti imaju tendenciju povećanja sa dubinom. Na $K_{Ko,}$ vrednosti pH zemljišta od 7.54 su slabo baznog karaktera, nešto su niže u odnosu na K3 i K2, i imaju tendenciju povećanja sa dubinom. Na $K_{Bb,}$ zemljište sa pH od 7.74 je takođe, slabo bazne reakcije. Vrednosti pH zemljišta od 7.83 na K_{Bk} isto tako ukazuju na slabo bazičnu reakciju i te vrednosti su niže u odnosu na K1, a više u odnosu na ostala staništa (Tabela 6).

Vrednost **supstitucione kiselosti (KCl)** na aktivnoj deponiji K1 iznosi 7.17. Vrednosti se u površinskom sloju smanjuju tokom vremena, tako da je na K3 vrednost od 6.79 manja u odnosu na K1, a veća u odnosu na K2, gde iznosi 6.50. Na deponijama pepela K3 i K2 vrednosti supstitucione kiselosti se povećavaju sa dubinom. Na nasipu reke Kolubare (K_{Ko}) supstituciona kiselost je najveća i iznosi 7.47, i ima trend smanjivanja u dubljim slojevima zemljišta. Na K_{Bk} i K_{Bb} te vrednosti su niže i iznose 6.41 i 6.54 (Tabela 6).

Vrednost **hidrolitičke kiselosti (Y1)** na aktivnoj kaseti K1 je 0.00, što ukazuje na bazni karakter pepela i proces istiskivanja svih vodonikovih jona iz adsorptivnog kompleksa. Hidrolitička kiselost pepela se povećava tokom vremena i kreće se od 0.25 na K3 do 0.59 na K2. Na obe kasete deponije pepela ove vrednosti imaju dinamiku

smanjivanja sa dubinom. Najveća hidrolitička kiselost je zabeležena na K_{Ko} i iznosi 2.97, pri čemu se vrednosti sa dubinom smanjuju. U Botaničkoj bašti (K_{Bb}) vrednosti od 1.01 su veće u odnosu na K1, K3 i K2, a manje u odnosu na K_{Ko} (Tabela 6). Zemljište na Bežanijskoj kosi (K_{Bk}) se odlikuje niskom hidrolitičkom kiselošću (0.76), nešto većom u odnosu na deponije pepela, a manjom u odnosu na ostala kontrolna staništa (Tabela 6).

Na aktivnoj deponiji pepela (**K1**) **totalni kapacitet adsorpcije katjona (T)** i **suma adsorbovanih baza (S)** iznosi 36.78 mg ekv/100 g, a **suma kiselih katjona (T-S)** je 0.00 (Tabela 6). **Stepen zasićenosti adsorptivnog kompleksa bazama (V)** je 100%. Vrednosti parametara adsorptivnog kompleksa pepela na aktivnoj deponiji potvrđuju baznu reakciju pepela. Generalno, niske vrednosti T i S ukazuju na manji kapacitet adsorpcije pepela od zemljišta.

Na **K3,** vrednosti T od 41.85 mg ekv/100 g, S od 41.73 mg ekv/100 g i T – S od 0.12 mg ekv/100 g u površinskom sloju su veće u odnosu na K1 što pokazuje da se posle 3 godine od početka rekultivacionog procesa količina kiselih i baznih katjona povećava. Vrednost (V) od 99.71 % je tek nešto smanjena u odnosu na K1, ukazujući na visok procenat baznih katjona u adsorptivnom kompleksu pepela. Sa povećanjem dubine, vrednosti T – S se smanjuju, a vrednosti V, T i S se povećavaju (Tabela 6).

Na **K2,** vrednosti T od 68.66 mg ekv/100 g, S od 68.54 mg ekv/100 g, T – S od 0.18 mg ekv/100 g i V od 99.83% u površinskom sloju pepela su veće u odnosu na K1 i K3. Vrednosti ovih parametara ukazuju da se posle 11 godina od biorekultivacije količina baznih katjona povećava više od kiselih katjona. Povećavanjem količine baznih katjona povećava se i kapacitet adsorpcije na pepelu. Vrednosti svih parametara adsorptivnog kompleksa se smanjuju sa dubinom (Tabela 6).

Na $\mathbf{K_{Ko}}$**,** vrednosti T od 43.91 mg ekv/100 g, S od 43.02 mg ekv/100 g su veće u odnosu na iste sa K1, a manje od K3 i K2. Procenat kiselih katjona (T – S) je najveći i iznosi 0.89 mg ekv/100 g. Stepen zasićenosti adsorptivnog kompleksa bazama (V) iznosi 97.97% i veći je u odnosu na sva staništa izuzev K1 što ukazuje da bazni katjoni dominiraju. Vrednosti T, S, T – S i V imaju tendenciju smanjivanja sa dubinom (Tabela 6).

Na $\mathbf{K_{Bb}}$, vrednosti T od 93.60 mg ekv/100 g i S od 92.94 mg ekv/100 g su veće u odnosu na iste sa ostalih staništa, izuzev K_{Bk}. Procenat kiselih katjona (T – S) je takođe

visok i iznosi 0.66 mg ekv/100 g. Vrednost V od 99.29% je manja u odnosu na sva ostala staništa (Tabela 6). Međutim, ova vrednost je generalno velika, ukazujući da se ovo zemljište odlikuje velikom količinom baznih katjona u adsorptivnom komplesku.

Na $\mathbf{K_{Bk}}$, vrednost T od 95.45 mg ekv/100 g i S od 94.95 mg ekv/100 g su najveće u poređenju sa vrednostima istih u pepelu na kasetama deponije i druga dva kontrolna staništa. Količina kiselih katjona (T – S) je veća u odnosu na deponije pepela, a manja u odnosu na K_{Ko} i K_{Bb}. Procenat baznih katjona vezanih za adsorptivni kompleks (V) je takođe visok i iznosi 99.48% i ukazuje na zemljište baznog karaktera (Tabela 6).

Procenat ugljenika (**C**) na aktivnoj kaseti (**K1**), u površinskom sloju, je relativno visok i iznosi 3.19 %, što je rezultat nepotpunog sagorevanja uglja. Procenat azota (**N**) na K1 je izrazito nizak i iznosi 0.02% što zajedno sa visokim sadržajem ugljenika ima veoma visok odnos **C/N** (159.50, Tabla 6).

Na **K3**, u površinskom sloju, procenat C je manji (2.03%), a N veći (0.09%) u odnosu na K1, a srazmerno tome je i niža vrednost odnosa C/N (22.56) (Tabela 6). Sa dubinom, vrednosti C i N se smanjuju, a odnos C/N se povećava.

Na **K2**, trend smanjivanja udela C (1.46%) i povećanja udela N (0.19) se tokom vremena nastavlja. Odnos C/N od 7.68 je manji u odnosu na K1 i K3 i u skladu je sa smanjivanjem udela C, a povećanja N. Kao i na K3, sadržaj C i N se sa dubinom smanjuje, a odnos C/N povećava (Tabela 6).

Na $\mathbf{K_{Ko}}$, sadržaj C od 4.08% i N od 0.42% je veći u odnosu na K1, K3 i K2, što je rezultat veće količine organske materije u zemljištu. Odnos C/N od 9.71 je manji od K1 i K3, a veći od K2, usled povećane količine C u zemljištu. Sa dubinom, vrednosti C i N se smanjuju, a odnos C/N se povećava (Tabela 6).

Na $\mathbf{K_{Bb}}$, zemljište se odlikuje najvećim sadržajem C od 5.41% u odnosu na ostala staništa. UdeoN od 0.26% je veći u odnosu na deponiju, a manji u odnosu na K_{Ko}. Povećana količina C u zemljištu uslovljava i veći odnos C/N (20.81) (Tabela 6).

Na $\mathbf{K_{Bk}}$, sadržaj C od 3.80% je sličan kao na K1, veći u odnosu na K2 i K2, a manji u odnosu na K_{Ko} i K_{Bb}. Sadržaj N od 0.29% je veći u odnosu na isti u pepelu sa pasivnih kaseta, manji u odnosu na K_{Ko}, a sličan sa K_{Bb}. Odnos C/N od 13.10 je manji u odnosu na isti u kasetama deponije i K_{Bb}, izuzev K_{Ko}. Ove vrednosti, generalno mogu da ukažu da se ovo zemljište odlikuje većim vrednostima C i N u odnosu na deponiju pepela (Tabela 6).

Na aktivnoj deponiji pepela (**K1**), količina dostupnih oblika K_2O u površinskom sloju iznosi 15.00 mg/100g. Na K1 dostupna količina P_2O_5 iznosi 7.49 mg/100g (Tabela 6).

Na **K3**, nakon tri godine od početka biorekultivacije, količina dostupnih oblika K_2O od 38.20 mg/100g i P_2O_5 od 25.32 mg/100g je povećana u odnosu na K1, što može biti jednim delom rezultat primene mineralnih đubriva (NPK) prilikom zasnivanja travnog biopokrivača, a delom obogaćivanja površinskog sloja organskom materijom biljnog porekla. Sa dubinom količina K_2O se povećava, a P_2O_5 se smanjuje (Tabela 6).

Na **K2**, obezbeđenost dostupnog oblika K_2O od 59.50 mg/100g je veća u odnosu na K1 i K3. Količina P_2O_5 od 12.81 mg/100g je veća u odnosu na K1, a manja u odnosu na K3. Naime, tokom 11 godina postojanja biljnog pokrivača biljke su usvajale ovaj fiziološki dostupan hemijski element. Takođe, smanjivanje količine fosfata može biti i rezultat interakcija sa drugim hemijskim jedinjenjima u pepelu. Sa dubinom količine K_2O i P_2O_5 imaju tendenciju smanjenja (Tabela 6).

Na $\mathbf{K_{Ko}}$, količina K_2O iznosi 31.40 mg/100g. Vrednosti su manje u odnosu na K3 i K2, a veće u odnosu na K1. Količina dostupnog oblika P_2O_5 od 19.30 mg/100g je veća u odnosu na K1, a manja u odnosu na K3 i K2. Količine ovih dostupnih oblika se smanjuju sa dubinom (Tabela 6).

Na $\mathbf{K_{Bb}}$, obezbeđenost K_2O od 56.44 mg/100g i P_2O_5 od 37.89 mg/100g je najbolja u odnosu na obe kasete deponije pepela i ostala kontrolna staništa ukazujući na najveću količinu fiziološki dostupnih oblika kalijuma i fosfora Tabela 6).

Na $\mathbf{K_{Bk}}$, obezbeđenost K_2O od 17.00 mg/100g i P_2O_5 od 3.85 mg/100g je najslabija u odnosu na sva staništa, iako je količina K_2O tek nešto veća u odnosu na K1 (Tabela 6).

Tabela 6. Hemijske karakteristike pepela na aktivnoj kaseti (K1), pasivnim kasetama različite starosti (K3 i K2) deponije pepela TENT-A u Obrenovcu i zemljištu na kontrolnim staništima (K_{Ko}, K_{Bb} i K_{Bk}).

Površina	Dubina (cm)	EC (dS/m)	pH		Y1 (ccm)	Adsorptivni kompleks (mg ekv/100g)				C (%)	N (%)	C/N	K_2O (mg/100g)	P_2O_5 (mg/100g)
			H_20	KCl		T - S	S	T	V (%)					
K1	0 – 10	0.352	8.03	7.17	0.00	0.00	36.78	36.78	100.0	3.19	0.02	159.50	15.00	7.49
K3	0 – 10	0.203	7.78	6.79	0.25	0.12	41.73	41.85	99.71	2.03	0.09	22.56	38.20	25.32
	10 – 20	0.208	7.95	7.30	0.25	0.11	48.29	48.40	99.77	1.87	0.04	46.75	40.00	19.80
	20 – 30	0.241	8.12	7.54	0.12	0.08	51.06	51.14	99.84	1.65	0.04	41.25	55.00	12.23
	30 – 40	0.267	8.19	7.67	0.12	0.08	77.44	77.52	99.90	1.69	0.04	42.25	50.15	15.96
	40 - 50	0.294	8.15	7.74	0.12	0.03	82.59	82.62	99.96	1.72	0.03	56.67	40.00	17.21
K2	0 – 10	0.184	7.72	6.50	0.59	0.18	68.54	68.66	99.83	1.46	0.19	7.68	59.50	12.81
	10 – 20	0.188	7.94	6.75	0.30	0.12	65.94	66.06	99.82	0.95	0.07	13.57	59.00	9.23
	20 – 30	0.198	7.95	6.90	0.30	0.09	66.26	66.35	99.86	0.98	0.06	16.33	39.00	7.98
	30 – 40	0.201	7.90	6.94	0.30	0.08	47.37	47.45	99.83	1.42	0.04	35.50	34.00	4.67
	40 - 50	0.238	7.86	7.04	0.20	0.06	25.22	25.28	99.76	0.43	0.04	10.75	11.00	3.61
K_{Ko}	0 – 10	0.169	7.54	7.47	2.97	0.89	43.02	43.91	97.97	4.08	0.42	9.71	31.40	19.30
	10 – 25	0.144	7.68	7.29	1.43	0.42	49.35	49.77	99.16	2.12	0.34	6.24	18.82	6.74
	25 – 50	0.154	7.58	7.17	1.38	0.36	49.25	49.61	99.27	1.39	0.19	7.32	19.00	7.06
	50 – 80	0.135	7.59	7.08	1.29	0.39	42.13	42.52	99.08	1.18	0.11	10.73	17.82	4.62
	80 - 115	0.095	7.56	7.01	1.19	0.45	33.43	33.87	98.70	1.06	0.06	17.67	15.00	1.75
K_{Bb}	0-10	0.306	7.74	6.41	1.01	0.66	92.94	93.60	99.29	5.41	0.26	20.81	56.44	37.89
K_{Bk}	0-10	0.186	7.83	6.54	0.76	0.49	94.96	95.45	99.48	3.80	0.29	13.10	17.00	3.85

5.2.3. SEM analiza čestica pepela

Na SEM mikrografiji morfoloških karakteristika čestica pepela sa aktivne kasete deponije pepela TENT – A u Obrenovcu uočavaju se individualne krupne i sitne čestice, različitog oblika i veličine, kao i njihovi agregati (Slika 15 A, B, C). Prisutne su brojne čestice sfernog i sferoidnog oblika, kao i brojne cenosfere i pleurosfere, koje nastaju kao rezultat sagorevanja uglja na visokim temperaturama. Kristalne strukture formirane unutar agregata čestica nastaju u procesu hlađenja. Krupne kompaktne amorfne čestice sferoidnog oblika ukazuju na proces formiranja cementnog matriksa (Slika 15 D). Takve strukture su pune pora, šupljina, udubljenja i praznog prostora i unutar njih se nalaze kako pojedinačne čestice sfernog oblika, tako i mikrostrukture različitog oblika (Slika 15 E, F, G, H).

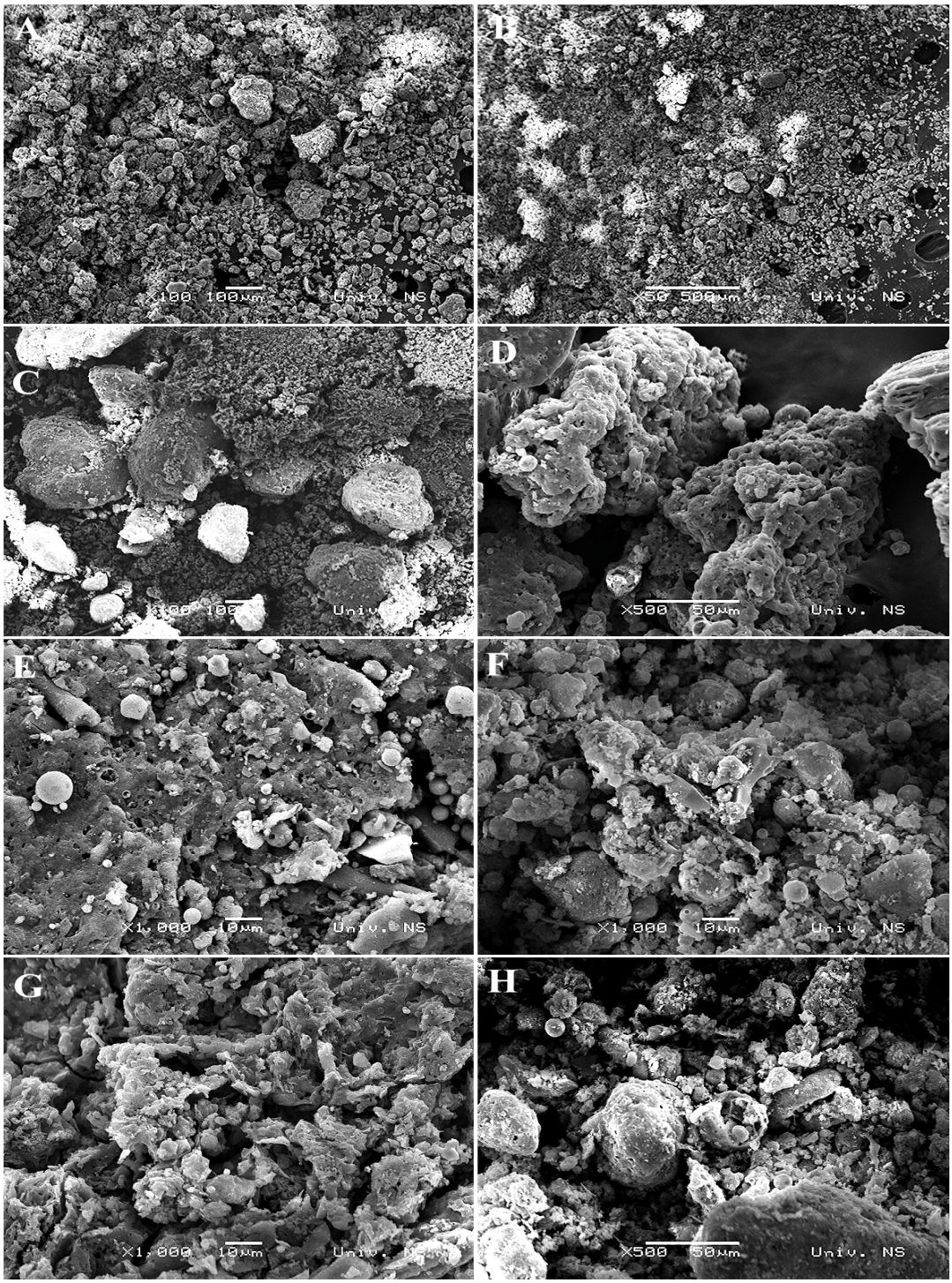
Na Slici 16 A i B se zapažaju čestice različite veličine, od veoma krupnih do veoma sitnih. Dijametar srednje krupnih čestica se kretao u opsegu od 48.2 – 85.0 μm, krupnih od 137-198 μm i najkrupnijih od 237 - 366 μm. Opseg veličina odgovara cenosferama.

SEM - EDS metodom izvršena je spektralna analiza hemijskog sastava čestica pepela na aktivnoj kaseti (K1), kaseti staroj tri godine (K3) i kaseti staroj jedanaest godina (K2). Na sve tri kasete deponije utvrđeno je prisustvo sledećih elemenata: O, Mg, Al, Si, K, Ca, Ti i Fe (Slika 17).

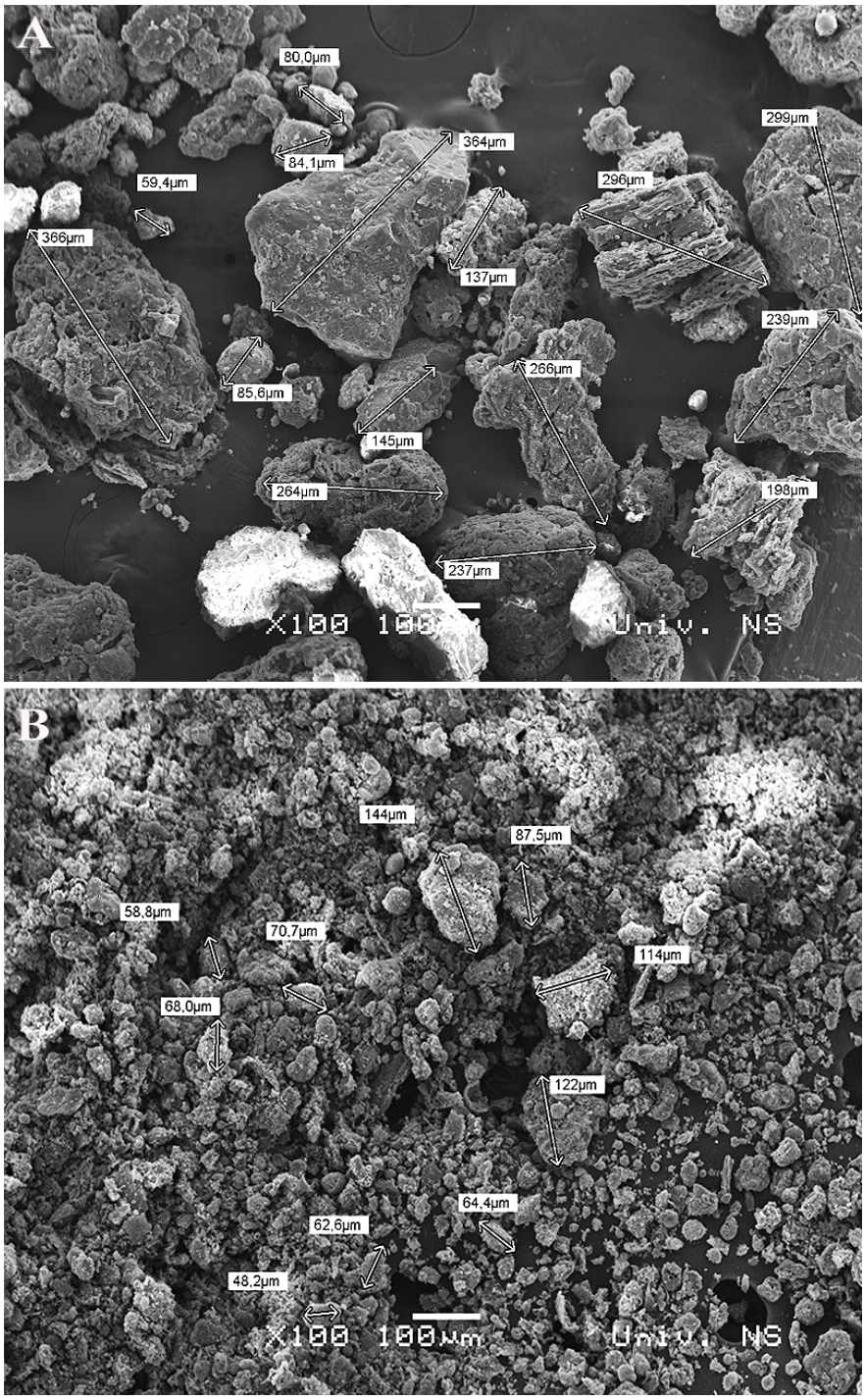
Na **K1,** koncentracije hemijskih elemenata se kreću sledećim redosledom: O (47.19 wt%), Si (27.63 wt%), Al (13.47 wt%), Ca (8.82 wt%), Fe (6.34 wt%), Mg (1.14 wt%), K (1.72 wt%) i Ti (0.41 wt%), Tabela 7.

Na **K3**, koncentracije hemijskih elemenata imaju sličan sledeći redosled kao na K1: O (46.59 wt%), Si (25.04 wt%), Al (12.24 wt%), Ca (10.11 wt%), Fe (7.85 wt%), K (1.69 wt%), Mg (1.57 wt%) i Ti (0.63 wt%), Tabela 7.

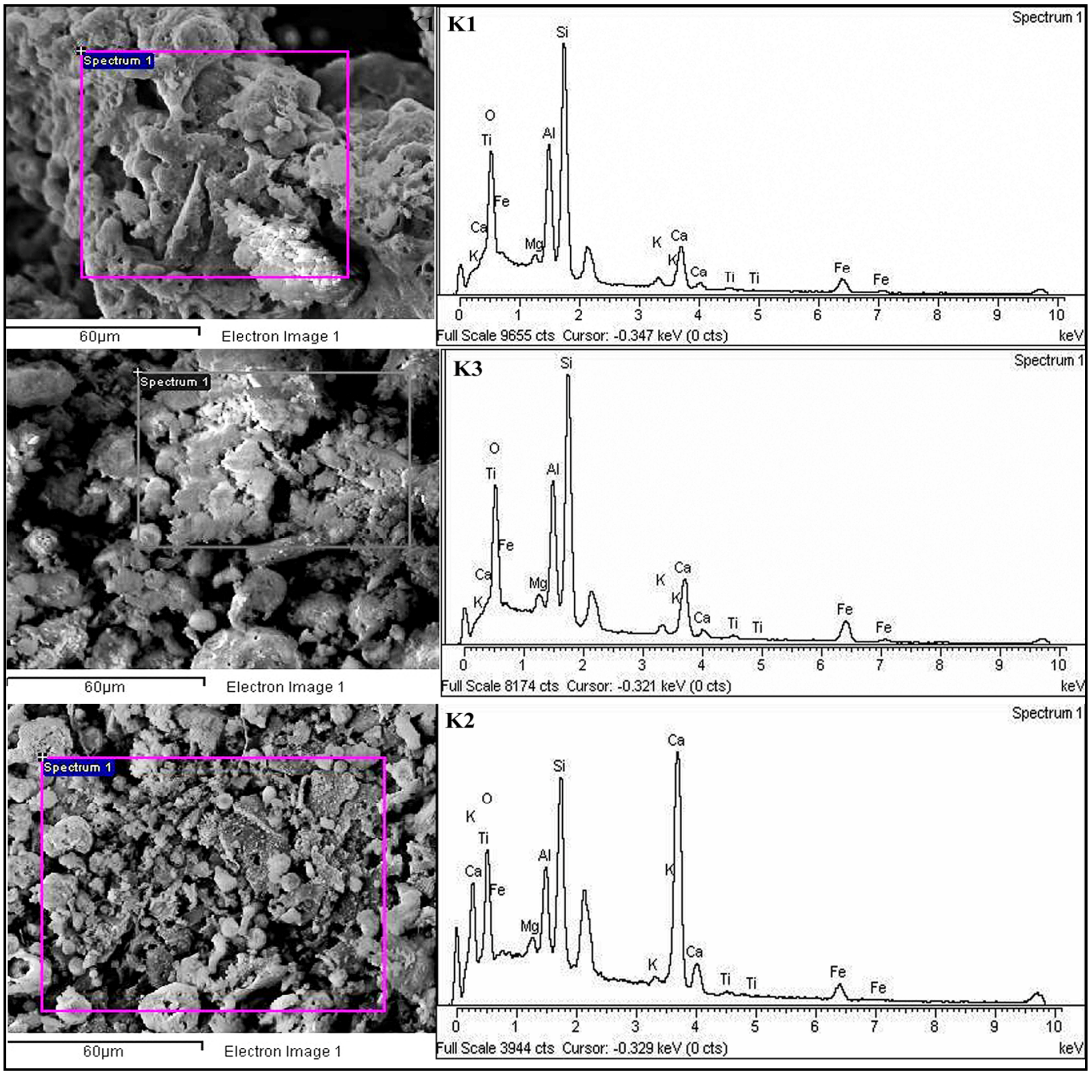
Na **K2**, koncentracije hemijskih elemenata imaju različit raspored kao na K1 i K3: O (20.68 wt%), Ca (19.44 wt%), Si (8.66 wt%), Al (3.87 wt%), Fe (2.79 wt%), Mg (0.75 wt%), K (0.61 wt%) i Ti (0.37 wt%), Tabela 7.



Slika 15. SEM mikrografija oblika i strukture čestica pepela sa aktivne kasete deponije pepela TENT-A u Obrenovcu.



Slika 16. SEM mikrografija dijametra čestica pepela sa aktivne kasete deponije pepela TENT-A u Obrenovcu.



Slika 17. Spektralna analiza hemijskog sastava čestica pepela na aktivnoj kaseti (K1), kao i pasivnim kasetama različite starosti (K1, K3 i K2) deponija pepela TENT-A u Obrenovcu.

Tabela 7. Koncentracije hemijskih elemenata u česticama pepela na aktivnoj kaseti (K1), kao i pasivnim kasetama različite starosti (K1, K3 i K2) deponijame pepela TENT-A u Obrenovcu.

Element	**K1**	**K3**	**K2**
	App. Conc. (wt%)	App. Conc. (wt%)	App. Conc. (wt%)
O	47.19	46.59	20.68
Mg	1.14	1.57	0.75
Al	13.47	12.24	3.87
Si	27.63	25.04	8.66
K	1.72	1.69	0.61
Ca	8.82	10.11	19.44
Ti	0.41	0.63	0.37
Fe	6.34	7.85	2.79

5.3. SADRŽAJ UKUPNIH I DTPA - DOSTUPNIH FRAKCIJA HEMIJSKIH ELEMENATA U PEPELU I ZEMLJIŠTU

5.3.1. Sezonska dinamika ukupnog sadržaja hemijskih elemenata u pepelu i zemljištu

U pepelu aktivne kasete (K1), pepelu pasivnih kaseta različite starosti (K3 – stara tri godine i K2 – stara 11 godina) i u zemljištu na kontrolnim staništima (K_{Ko} – nasip Kolubare, K_{Bb} – Botanička bašta i K_{Bk} – Bežanijska kosa) su analizirani sledeći hemijski elementi: As, B, Cu, Mn, Mo, Se i Zn.

Na aktivnoj kaseti deponije pepela (K1) su se izmerene koncentracije hemijskih elemenata u pepelu kretale sledećim redosledom: Mn > B > Cu > Zn > As > Se > Mo (Tabela 8).

Tabela 8. Ukupan sadržaj hemijskih elemenata u pepelu aktivne kasete (K1) deponije TENT-A u Obrenovcu.

Hemijski element (µg/g)	M ± SD	Min - Max
As	60.36 ± 0.865	59.081 - 61.315
B	93.30 ± 1.540	90.816 - 94.430
Cu	79.66 ± 1.774	76.986 - 81.909
Mn	533.93 ± 11.482	515.814 - 547.444
Mo	4.35 ± 0.214	4.183 - 4.677
Se	4.40 ± 0.559	3.529 - 5.030
Zn	64.64 ± 2.678	61.904 - 69.056

n = 5, M ± SD, Min – minimalne vrednosti, Max – maksimalne vrednosti.

Na Tabeli 9 je prikazan uticaj staništa i sezone na varijabilnost ukupnog sadržaja hemijskih elemenata **u pepelu** sa **kaseta različite starosti i zemljištu na kontrolnim staništima**. Na varijabilnost ukupnog sadržaja As, B, Cu, Mo, Se i Zn značajno utiče stanište ($p<0.01$; $p<0.001$) i sezona ($p<0.001$; $p<0.01$), pri čemu je uticaj staništa veći od sezone. Na sadržaj Mn značajno utiče samo stanište ($p<0.001$).

Tabela 9. Uticaj staništa i sezone na varijabilnost ukupnog sadržaja hemijskih elemenata u pepelu na kasetama deponije različite starosti i zemljištu na kontrolnim staništima.

Parametar	Stanište		Sezona		Stanište x Sezona	
	F	p	F	p	F	p
As	**276.099**	***	8.296	***	17.122	***
B	**1838.671**	***	96.665	**	77.400	**
Cu	**640.02**	***	35.40	***	11.30	***
Mn	**997.48**	***	0.52	ns	20.76	***
Mo	**399.15**	***	17.58	***	13.26	***
Se	**120.662**	***	13.948	***	15.365	***
Zn	**252.974**	**	7.628	**	26.250	***

dvofaktorska ANOVA

Koncentracije As su na K2 i K3 bile manje u odnosu na K1 (Tabela 8). Koncentracije As su na K3 bile veće u julu ($p<0.001$) i avgustu ($p<0.001$) u odnosu na K2, dok u maju nisu zabeležene značajne razlike (Tabela 10).

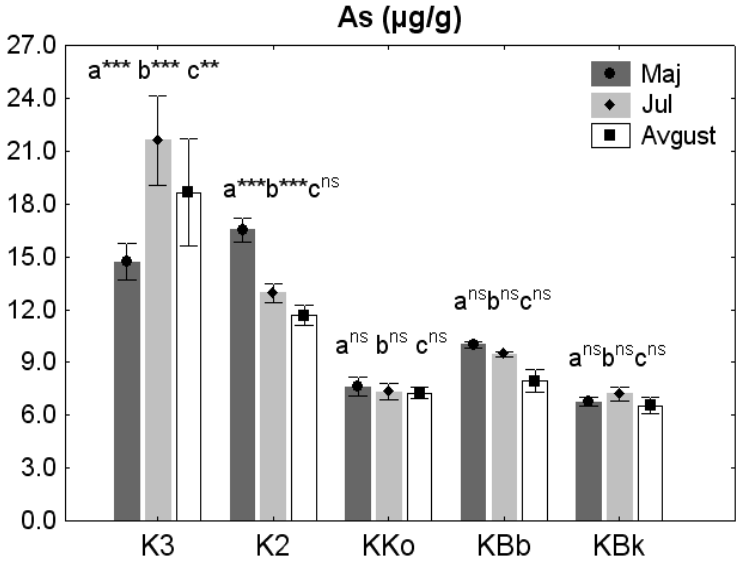
Tabela 10. Ukupan sadržaj As na kasetama različite starosti (K3 i K2) deponije pepela TENT- A u Obrenovcu i u zemljištu na kontrolnim staništima (K_{Ko}, K_{Bb} i K_{Bk}).

As (µg/g)							
Maj							
Lokal.	M (SD)	Min - Max	K3	K2	K_{Ko}	K_{Bb}	K_{Bk}
K3	14.69(1.035)	13.72 –16.02	-	ns	***	***	***
K2	16.53(0.687)	16.27– 17.67	ns	-	***	***	***
K_{Ko}	7.62 (0.528)	6.87 – 8.26	***	***	-	ns	ns
K_{Bb}	10.00(0.165)	9.84 – 10.23	***	***	ns	-	ns
K_{Bk}	6.75 (0.242)	6.56 – 7.04	***	***	ns	ns	-
Jul							
Lokal.	M (SD)	Min - Max	K3	K2	K_{Ko}	K_{Bb}	K_{Bk}
K3	21.62 (2.534)	17.40 –23.64	-	***	***	***	***
K2	12.95 (0.531)	12.23 –13.51	***	-	***	***	***
K_{Ko}	7.32 (0.454)	6.90 – 8.02	***	***	-	ns	ns
K_{Bb}	9.47 (0.141)	9.36 – 9.67	***	***	ns	-	ns
K_{Bk}	7.21 (0.375)	6.79 – 7.78	***	***	ns	ns	-
Avgust							
Lokal.	M (SD)	Min - Max	K3	K2	K_{Ko}	K_{Bb}	K_{Bk}
K3	18.65 (3.036)	16.41 –23.98	-	***	***	***	***
K2	11.66 (0.588)	11.17 –12.63	***	-	***	***	ns
K_{Ko}	7.25 (0.329)	6.83 – 7.63	***	***	-	ns	ns
K_{Bb}	7.95 (0.637)	7.06 – 8.83	***	***	ns	-	ns
K_{Bk}	6.54 (0.484)	6.07 – 7.26	***	***	ns	ns	-

dvofaktorska ANOVA, n=5, M (SD), Min – minimalne vrednosti, Max - maksimalne vrednosti; *** $p<0.001$, ns = nema značajnih razlika.

Sadržaj As je na svim kontrolnim staništima bio značajno manji u odnosu na K3 i K2 u maju ($p<0.001$), julu ($p<0.001$) i avgustu ($p<0.001$), izuzev u avgustu između K2 i K_{Bk}. Nisu utvđene značajne razlike u koncentraciji As u zemljištu između svih kontrolnih staništa (Tabela 10).

Tokom sezone, na K3, koncentracija As je u maju bila manja u odnosu na jul ($p<0.001$) i avgust ($p<0.001$). Na K2, koncentracije As su se smanjivale od maja do avgusta, tako da je koncentracija As u maju bila veća u odnosu na jul ($p<0.001$) i avgust ($p<0.001$). U zemljištu svih kontrolnih staništa nisu utvrđene značajne razlike u koncentraciji As tokom sezone (Slika 18).



Slika 18. Ukupan sadržaj As u pepelu i zemljištu na različitim staništima tokom sezone. Poređenja su sledeća: (a) Maj - Jul; (b) Maj - Avgust; (c) Jul – Avgust (dvofaktorska ANOVA, n = 5; ** $p<0.01$; *** $p<0.001$, ns = nema značajnih razlika).

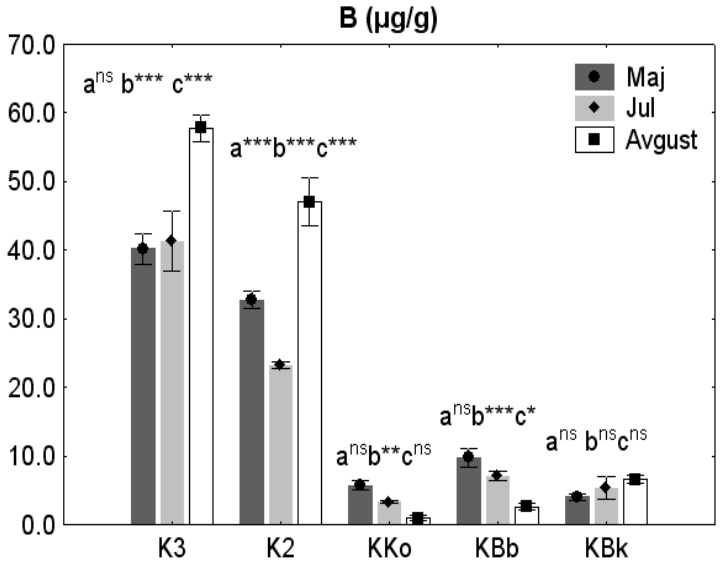
Sadržaj B u pepelu na K3 i K2 je bio manji u odnosu na K1 (Tabela 8). Koncentracije B su na K3 bile veće u odnosu na K2 u maju ($p<0.001$), julu ($p<0.001$) i avgustu ($p<0.001$) (Tabela 11).

Sadržaj B je na svim kontrolnim staništima bio značajno manji u odnosu na K3 i K2 u maju ($p<0.001$), julu ($p<0.001$) i avgustu ($p<0.001$). Razlike u koncentraciji B na kontrolnim staništima nisu bile utvrđene, izuzev u maju između K_{Bb} i K_{Bk} ($p<0.001$) i avgustu između K_{Ko} i K_{Bk} ($p<0.001$) (Tabela 11).

Tabela 11. Ukupan sadržaj B na kasetama različite starosti (K3 i K2) deponije pepela TENT- A u Obrenovcu i u zemljištu na kontrolnim staništima (K_{Ko}, K_{Bb} i K_{Bk}).

B (µg/g)							
Maj							
Lokal.	M (SD)	Min - Max	K3	K2	K_{Ko}	K_{Bb}	K_{Bk}
K3	40.23(2.241)	36.74 – 42.68	-	***	***	***	***
K2	32.73 (1.271)	30.60 – 33.60	***	-	***	***	***
K_{Ko}	7.74 (0.750)	5.1 – 6.99	***	***	-	ns	ns
K_{Bb}	9.77(1.401)	7.89 – 11.70	***	***	ns	-	***
K_{Bk}	4.04 (0.449)	3.69 – 4.55	***	***	ns	***	-
Jul							
Lokal.	M (SD)	Min - Max	K3	K2	K_{Ko}	K_{Bb}	K_{Bk}
K3	41.28 (4.332)	33.97 – 44.55	-	***	***	***	***
K2	23.24 (0.414)	22.97 – 23.88	***	-	***	***	***
K_{Ko}	3.28 (0.245)	2.91 – 3.56	***	***	-	ns	ns
K_{Bb}	7.02 (0.683)	6.39 – 8.10	***	***	ns	-	ns
K_{Bk}	5.36 (1.659)	3.55 – 7.71	***	***	ns	ns	-
Avgust							
Lokal.	M (SD)	Min - Max	K3	K2	K_{Ko}	K_{Bb}	K_{Bk}
K3	57.80 (1.950)	56.22 – 60.75	-	***	***	***	***
K2	47.06 (3.484)	41.99 – 50.12	***	-	***	***	***
K_{Ko}	0.95 (0.415)	0.51 – 1.58	***	***	-	ns	***
K_{Bb}	2.55 (0.480)	1.88 – 2.99	***	***	ns	-	ns
K_{Bk}	6.61 (0.576)	6.01 – 7.32	***	***	***	ns	-

dvofaktorska ANOVA, n=5, M (SD), Min – minimalne vrednosti, Max - maksimalne vrednosti; *** p<0.001, ns = nema značajnih razlika.



Slika 19. Ukupan sadržaj B u pepelu i zemljištu na različitim staništima tokom sezone. Poređenja su sledeća: (a) Maj - Jul; (b) Maj - Avgust; (c) Jul – Avgust (dvofaktorska ANOVA, n = 5; ** p<0.01; *** p<0.001, ns = nema značajnih razlika).

Tokom sezone, koncentracije B su na K3 i na K2 u avgustu bile veće u odnosu maj ($p<0.001$; $p<0.001$) i jul ($p<0.001$; $p<0.001$) (Slika 19). Na K_{Ko} i K_{Bb}, sadržaj B se tokom sezone smanjivao, tako da su vrednosti u maju bile značajno veće u odnosu na avgust ($p<0.01$; $p<0.001$) (Slika 19). Značajne razlike u koncetraciji B na K_{Bk} tokom sezone nisu utvrđene (Slika 19).

Koncentracije Cu su na K3 i K2 tokom sezone bile manje u odnosu na K1 (Tabela 8). Sadržaj Cu je na K3 bio manji u odnosu na K2 u maju ($p<0.001$), julu ($p<0.001$) i avgustu ($p<0.001$) (Tabela 12).

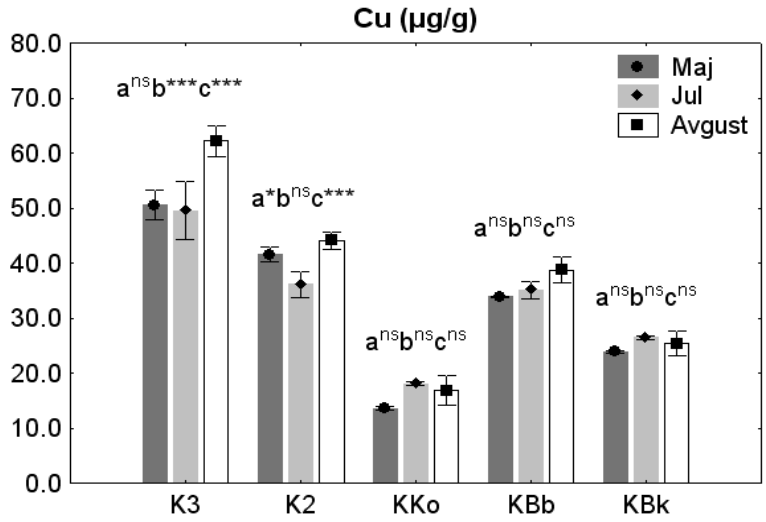
Koncentracije Cu su na svim kontrolnim staništima bile manje u odnosu na K3 i K2 ($p<0.001$) (Tabela 12). Količina Cu na K_{Bb} je bila veća u odnosu na K_{Ko} i K_{Bk} u maju ($p<0.001$, $p<0.001$), julu ($p<0.001$, $p<0.001$) i avgustu ($p<0.001$, $p<0.001$) (Tabela 12).

Tabela 12. Ukupan sadržaj Cu na kasetama različite starosti (K3 i K2) deponije pepela TENT- A u Obrenovcu i u zemljištu na kontrolnim staništima (K_{Ko}, K_{Bb} i K_{Bk}).

Cu (µg/g)							
Maj							
Lokal.	M (SD)	Min - Max	K3	K2	K_{Ko}	K_{Bb}	K_{Bk}
K3	50.49 (2.687)	46.43 – 53.98	-	***	***	***	***
K2	41.57 (1.304)	39. 96 –43.26	***	-	***	***	***
K_{Ko}	13.53 (0.332)	13.26 – 13.64	***	***	-	***	***
K_{Bb}	33.86 (0.116)	33.72 – 34.00	***	***	***	-	***
K_{Bk}	23.83 (0.170)	23.64 – 23.99	***	***	***	***	-
Jul							
Lokal.	M (SD)	Min - Max	K3	K2	K_{Ko}	K_{Bb}	K_{Bk}
K3	49.51 (5.323)	40.41 – 53.52	-	***	***	***	***
K2	36.11 (2.393)	33.05 – 38.64	***	-	***	ns	***
K_{Ko}	18.04 (0.354)	17.67 – 18.50	***	***	-	***	***
K_{Bb}	35.13 (1.576)	34.23 – 37.93	***	ns	***	-	***
K_{Bk}	26.45 (0.313)	25.91 – 26.71	***	***	***	***	-
Avgust							
Lokal.	M (SD)	Min - Max	K3	K2	K_{Ko}	K_{Bb}	K_{Bk}
K3	62.19 (2.836)	59.52 – 66.78	-	***	***	***	***
K2	44.07 (1.632)	41. 34 –44.52	***	-	***	**	***
K_{Ko}	16.77 (2.684)	12.48 – 18.84	***	***	-	***	***
K_{Bb}	38.74 (2.290)	36.20 – 42.04	***	**	***	-	***
K_{Bk}	25.36 (2.314)	21.64 – 27.33	***	***	***	***	-

Dvofaktorska ANOVA, n = 5, M (SD), Min – minimalne vrednosti, Max - maksimalne vrednosti; **p<0.01; *** p<0.001, ns = nema značajnih razlika.

Koncentracije Cu su na K3 u avgustu bile veće u odnosu na maj ($p<0.001$) i jul ($p<0.001$). Na K2, sadržaj Cu u julu je bio manji u odnosu na maj ($p<0.05$) i avgust ($p<0.001$) (Slika 20). Nisu bile utvrđene značajne razlike u koncentraciji Cu u zemljištu svih kontrolnih staništa tokom sezone (Slika 20).



Slika 20. Ukupan sadržaj Cu u pepelu i zemljištu na različitim staništima tokom sezone. Poređenja su sledeća: (a) Maj - Jul; (b) Maj - Avgust; (c) Jul – Avgust (dvofaktorska ANOVA, n = 5; * $p<0.05$; *** $p<0.001$, ns = nema značajnih razlika).

Ukupan **sadržaj Mn** na K3 i K2 je bio manji u odnosu na K1 (Tabela 8). Sadržaj Mn je na K3 je bio značajno veći u odnosu na K2 samo u julu u odnosu na K2 ($p<0.001$) (Tabela 13).

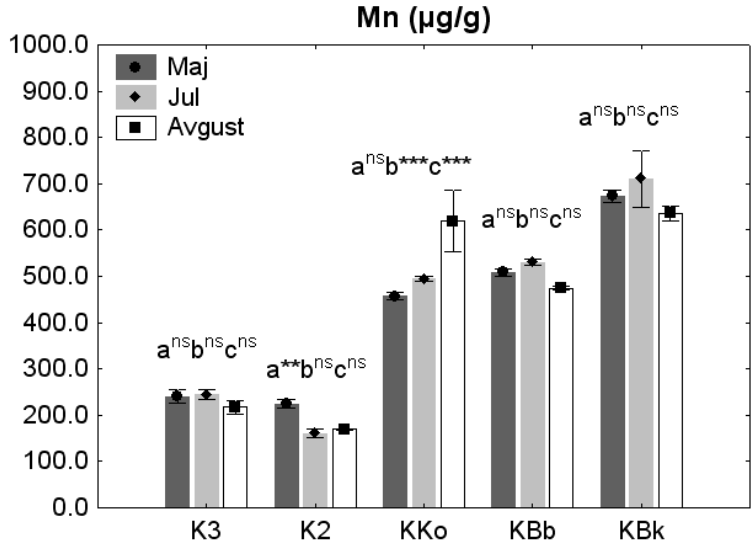
Na svim kontrolnim staništima, sadržaj Mn u zemljištu je bio veći u odnosu na pepeo (K3 i K2). Koncentracije Mn su na K_{Bk} bile veće u odnosu na K_{Bb} u maju ($p<0.001$), julu ($p<0.001$) i avgustu ($p<0.01$). Sadržaj Mn na K_{Ko} je bio manji u maju ($p<0.001$) i julu ($p<0.001$) odnosu na K_{Bk}, a veći u odnosu na K_{Bb} u avgustu ($p<0.001$) (Tabela 13).

Na K3, K_{Bb} i K_{Bk}, nisu bile utvrđene razlike u količini Mn tokom sezone. Na K2, koncentracija Mn je u maju bila veća samo u odnosu na jul ($p<0.01$), a na K_{Ko} je u avgustu bila veća u odnosu na maj ($p<0.001$) i jul ($p<0.001$) (Slika 21).

Tabela 13. Ukupan sadržaj Mn na kasetama različite starosti (K3 i K2) deponije pepela TENT- A u Obrenovcu i u zemljištu na kontrolnim staništima (K_{Ko}, K_{Bb} i K_{Bk}).

Mn (µg/g)							
Maj							
Lokal.	M (SD)	Min - Max	K3	K2	K_{Ko}	K_{Bb}	K_{Bk}
K3	240.39 (14.161)	222.97 - 262.32	-	ns	***	***	***
K2	224.81 (9.262)	210.36 – 235.13	ns	-	***	***	***
K_{Ko}	457.30 (8.563)	443.23 – 466.05	***	***	-	ns	***
K_{Bb}	508.71 (7.377)	498.37 – 518.13	***	***	ns	-	***
K_{Bk}	673.06 (14.221)	649.29 – 684.43	***	***	***	***	-
Jul							
Lokal.	M (SD)	Min - Max	K3	K2	K_{Ko}	K_{Bb}	K_{Bk}
K3	243.95(11.048)	232.04 – 257.80	-	***	***	***	***
K2	160.85 (9.012)	149.73 – 167.79	***	-	***	***	***
K_{Ko}	494.75 (5.266)	488.36 – 502.56	***	***	-	ns	***
K_{Bb}	530.46 (7.573)	520.42 – 525.94	***	***	ns	-	***
K_{Bk}	710.43(61.499)	642.01 – 785.91	***	***	***	***	-
Avgust							
Lokal.	M (SD)	Min - Max	K3	K2	K_{Ko}	K_{Bb}	K_{Bk}
K3	217.13(14.439)	203.47 – 239.21	-	ns	***	***	***
K2	169.39(2.013)	168.25 – 172.37	ns	-	***	***	***
K_{Ko}	619.49(67.122)	506.41 – 671.15	***	***	-	***	ns
K_{Bb}	474.86(3.294)	472.12 – 478.97	***	***	***	-	***
K_{Bk}	636.02(16.586)	607.57 – 650.08	***	***	ns	***	-

dvofaktorska ANOVA, n = 5, M (SD), Min – minimalne vrednosti, Max - maksimalne vrednosti; *** p<0.001, ns = nema značajnih razlika.



Slika 21. Ukupan sadržaj Mn u pepelu i zemljištu na različitim staništima tokom sezone. Poređenja su sledeća: (a) Maj - Jul; (b) Maj - Avgust; (c) Jul – Avgust (dvofaktorska ANOVA, n = 5; ** p<0.01; *** p<0.001, ns = nema značajnih razlika.

Sadržaj Mo je na K3 i K2 tokom sezone bio manji u odnosu na K1 (Tabela 8). Koncentracije Mo su bile veće na K2 u odnosu na K3 u maju ($p<0.001$), julu ($p<0.001$) i avgustu ($p<0.001$) (Tabela 14).

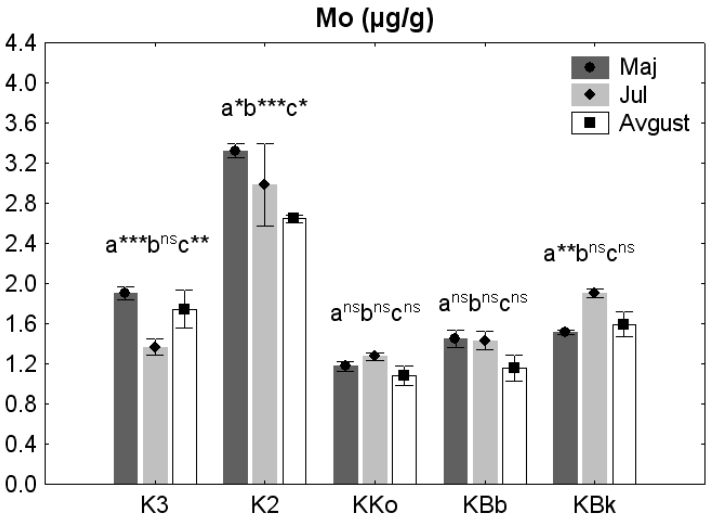
Koncentracije Mo su na svim kontrolnim staništima bile manje u odnosu na K2 u maju ($p<0.001$), julu ($p<0.001$) i avgustu ($p<0.001$). Sadržaj Mo je u maju na svim kontrolnim staništima bio manji u odnosu na K3 i K2 ($p<0.001$; $p<0.001$). U julu je vrednost Mo samo na K_{Bk} bila veća u odnosu na K3 ($p<0.001$), dok su vrednosti Mo na svim kontrolnim staništima bile manje u odnosu na K2 ($p<0.001$). U avgustu su koncentracije Mo na svim kontrolnim staništima, izuzev na K_{Bk} bile manje u odnosu na K3 i K2 ($p<0.001$; $p<0.001$). Na K_{Bk} su izmerene veće vrednosti Mo u odnosu na K_{Bb} u maju ($p<0.05$), julu ($p<0.001$) i avgustu ($p<0.001$), kao i veće vrednosti u avgustu u odnosu na K_{Ko} ($p<0.001$), (Tabela 14).

Tabela 14. Ukupan sadržaj Mo na kasetama različite starosti (K3 i K2) deponije pepela TENT- A u Obrenovcu i u zemljištu na kontrolnim staništima (K_{Ko}, K_{Bb} i K_{Bk}).

Mo (µg/g)							
Maj							
Lokal.	M (SD)	Min - Max	K3	K2	K_{Ko}	K_{Bb}	K_{Bk}
K3	1.90 (0.068)	1.82 – 1.97	-	***	***	***	***
K2	3.32 (0.071)	3.21 – 3.39	***	-	***	***	***
K_{Ko}	1.17 (0.051)	1.11 – 1.24	***	***	-	ns	*
K_{Bb}	1.45 (0.089)	1.34 – 1.58	***	***	ns	-	ns
K_{Bk}	1.52 (0.021)	1.48 – 1.54	***	***	*	ns	-
Jul							
Lokal.	M (SD)	Min - Max	K3	K2	K_{Ko}	K_{Bb}	K_{Bk}
K3	1.37 (0.084)	1.25 – 1.44	-	***	ns	ns	***
K2	2.98 (0.401)	2.68 – 2.92	***	-	***	***	***
K_{Ko}	1.27 (0.036)	1.22 – 1.32	ns	***	-	ns	ns
K_{Bb}	1.42 (0.091)	1.32 - 1.48	ns	***	ns	-	***
K_{Bk}	1.91 (0.043)	1.85 – 1.96	***	***	ns	***	-
Avgust							
Lokal.	M (SD)	Min - Max	K3	K2	K_{Ko}	K_{Bb}	K_{Bk}
K3	1.74 (0.189)	1.46 – 1.98	-	***	***	***	ns
K2	2.64 (0.039)	2.59 – 2.69	***	-	***	***	***
K_{Ko}	1.08 (0.095)	0.92 – 1.18	***	***	-	ns	***
K_{Bb}	1.16 (0.129)	1.07 – 1.39	***	***	ns	-	***
K_{Bk}	1.59 (0.124)	1.39 – 1.70	ns	***	***	***	-

dvofaktorska ANOVA, n = 5, M (SD), Min – minimalne vrednosti, Max - maksimalne vrednosti; *p<0.05; *** p<0.001, ns = nema značajnih razlika.

Na K3, količina Mo je bila manja u julu u odnosu na maj ($p<0.001$) i avgust ($p<0.01$). Na K2, sadržaj Mo je bio veći u maju u odnosu na jul ($p<0.05$) i avgust ($p<0.001$). Na K_{Bk}, koncentracija Mo je u julu bila veća samo u odnosu na maj ($p<0.01$), dok se na ostalim kontrolnim staništima koncentracija Mo nije značajno menjala tokom sezone (Slika 22).



Slika 22. Ukupan sadržaj Mo u pepelu i zemljištu na različitim staništima tokom sezone. Poređenja su sledeća: (a) Maj - Jul; (b) Maj - Avgust; (c) Jul – Avgust (dvofaktorska ANOVA, n = 5; *p<0.05; ** p<0.01; *** p<0.001, ns = nema značajnih razlika).

Ukupan sadržaj Se na K3 i K2 tokom sezone je bio manji u odnosu na K1 (Tabela 8). Sadržaj Se je na K3 bio manji u maju ($p<0.001$), a veći u avgustu ($p<0.01$) u odnosu na K2 (Tabela 15).

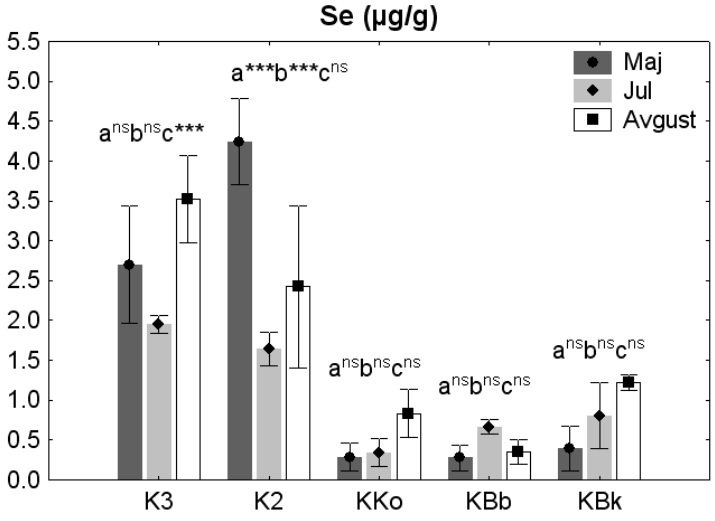
Sadržaj Se u zemljištu svih kontrolnih staništa je bio značajno manji u odnosu na K3 i K2 u maju i avgustu ($p<0.01$; $p<0.001$). Koncentracije Se u zemljištu se nisu značajno razlikovale između kontrolnih staništa tokom sezone (Tabela 15).

Sadržaj Se na K3 je samo u avgustu bio veći u odnosu na jul ($p<0.001$), dok je na K2 bio veći u maju u odnosu na jul ($p<0.001$) i avgust ($p<0.001$). Tokom sezone, sadržaj Se u zemljištu kontrolnih staništa se nije značajno menjao (Slika 23).

Tabela 15. Ukupan sadržaj Se na kasetama različite starosti (K3 i K2) deponije pepela TENT- A u Obrenovcu i u zemljištu na kontrolnim staništima (K_{Ko}, K_{Bb} i K_{Bk}).

Se (µg/g)							
Maj							
Lokal.	M (SD)	Min - Max	K3	K2	K_{Ko}	K_{Bb}	K_{Bk}
K3	2.70 (0.735)	1.84 – 3.75	-	***	***	***	***
K2	4.24 (0.539)	3.46 – 4.77	***	-	***	***	***
K_{Ko}	0.28 (0.176)	0.10 – 0.49	***	***	-	ns	ns
K_{Bb}	0.27 (0.159)	0.12 – 0.47	***	***	ns	-	ns
K_{Bk}	0.39 (0.280)	0.10 – 0.800	***	**	ns	ns	-
Jul							
Lokal.	M (SD)	Min - Max	K3	K2	K_{Ko}	K_{Bb}	K_{Bk}
K3	1.95 (0.113)	1.83 – 2.12	-	ns	***	***	***
K2	1.65 (0.210)	1.28 – 1.78	ns	-	***	ns	ns
K_{Ko}	0.34 (0.176)	0.11 – 0.59	***	***	-	ns	ns
K_{Bb}	0.67 (0.095)	0.55 – 0.80	***	ns	ns	-	ns
K_{Bk}	0.85 (0.413)	0.16 – 1.24	***	ns	ns	ns	-
Avgust							
Lokal.	M (SD)	Min - Max	K3	K2	K_{Ko}	K_{Bb}	K_{Bk}
K3	3.52 (0.544)	2.72 – 4.08	-	***	***	***	***
K2	2.42 (1.03)	1.32 – 3.43	***	-	***	***	***
K_{Ko}	0.83 (0.303)	0.46 – 1.22	***	***	-	ns	ns
K_{Bb}	0.35 (0.151)	0.10 – 0.51	***	***	Ns	-	ns
K_{Bk}	1.22 (0.095)	1.06 – 1.31	***	***	ns	ns	-

dvofaktorska ANOVA, n = 5, M (SD), Min – minimalne vrednosti, Max - maksimalne vrednosti; **p<0.01; *** p<0.001, ns = nema značajnih razlika.



Slika 23. Ukupan sadržaj Se u pepelu i zemljištu na različitim staništima tokom sezone. Poređenja su sledeća: (a) Maj - Jul; (b) Maj - Avgust; (c) Jul – Avgust (dvofaktorska ANOVA, n = 5; *** p<0.001, ns = nema značajnih razlika).

Koncentracije Zn su na K3 i K2 bile niže u odnosu na K1 (Tabela 8). Ukupan sadržaj Zn je na K3 bio veći u odnosu na K2 u maju ($p<0.001$), julu ($p<0.001$) i avgustu ($p<0.01$), različite starosti (K3 i K2) (Tabela 16).

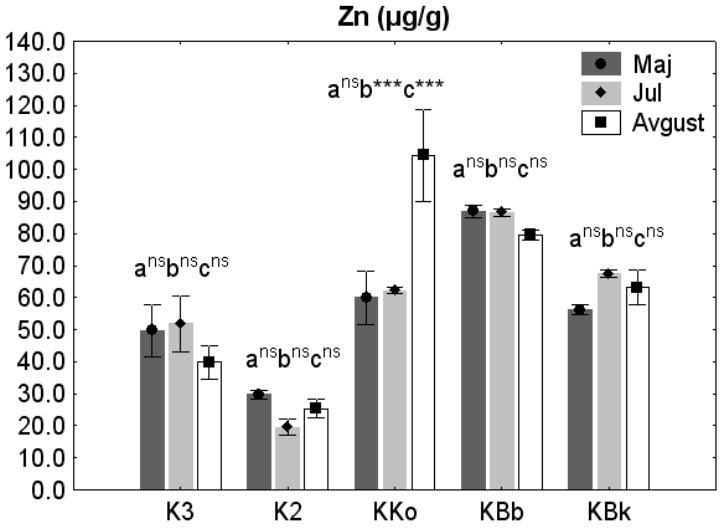
Na kontrolnim staništima, sadržaj Zn je bio značajno veći u odnosu na deponije pepela K3 i K2 u maju ($p<0.001$; $p<0.001$), julu ($p<0.05$; $p<0.01$; $p<0.001$) i avgustu ($p<0.001$; $p<0.001$), izuzev na K_{Ko} u maju i julu i K_{Bk} u maju u odnosu na K3. Sadržaj Zn je varirao između kontrolnih staništa u maju ($p<0.001$), julu ($p<0.001$) i avgustu ($p<0.01$; $p<0.001$) (Tabela 16).

Na K3, K2, K_{Bb} i K_{Bk}, sadržaj Zn se nije značajno menjao tokom sezone. Samo je na K_{Ko}, količina Zn u zemljištu u avgustu bila značajno veća u odnosu na maj ($p<0.001$) i avgust ($p<0.001$) (Slika 24).

Tabela 16. Ukupan sadržaj Zn na kasetama različite starosti (K3 i K2) deponije pepela TENT- A u Obrenovcu i u zemljištu na kontrolnim staništima (K_{Ko}, K_{Bb} i K_{Bk}).

Zn (µg/g)							
Maj							
Lokal.	M (SD)	Min - Max	K3	K2	K_{Ko}	K_{Bb}	K_{Bk}
K3	49.75 (8.167)	40.37 – 62.64	-	***	ns	***	ns
K2	29.74 (1.236)	28.49 – 31.70	***	-	***	***	***
K_{Ko}	59.93 (8.171)	54.55 – 74.21	ns	***	-	***	***
K_{Bb}	87.01 (1.922)	85.11 – 89.30	***	***	***	-	***
K_{Bk}	56.09 (1.517)	55.01 – 58.49	ns	***	***	***	-
Jul							
Lokal.	M (SD)	Min - Max	K3	K2	K_{Ko}	K_{Bb}	K_{Bk}
K3	51.95 (8.750)	39.23 – 62.64	-	***	ns	***	***
K2	19.55 (2.513)	18.14 – 24.03	***	-	***	***	***
K_{Ko}	62.24 (0.843)	61.16 – 63.31	ns	***	-	***	ns
K_{Bb}	86.51 (1.176)	85.51 – 88.38	***	***	***	-	***
K_{Bk}	67.49 (1.277)	66.43 – 69.57	***	***	ns	***	-
Avgust							
Lokal.	M (SD)	Min - Max	K3	K2	K_{Ko}	K_{Bb}	K_{Bk}
K3	39.83 (5.209)	36.26 – 48.85	-	**	***	***	***
K2	25.36 (2.811)	25.32 – 28.39	**	-	***	***	***
K_{Ko}	104.37(14.195)	79.31 – 113.23	***	***	-	***	***
K_{Bb}	79.53 (1.651)	76.75 – 81.18	***	***	***	-	**
K_{Bk}	63.17 (5.367)	54.01 – 66.64	***	***	***	**	-

dvofaktorska ANOVA, n = 5, M (SD), Min – minimalne vrednosti, Max - maksimalne vrednosti; **p<0.01; *** p<0.001, ns = nema značajnih razlika.



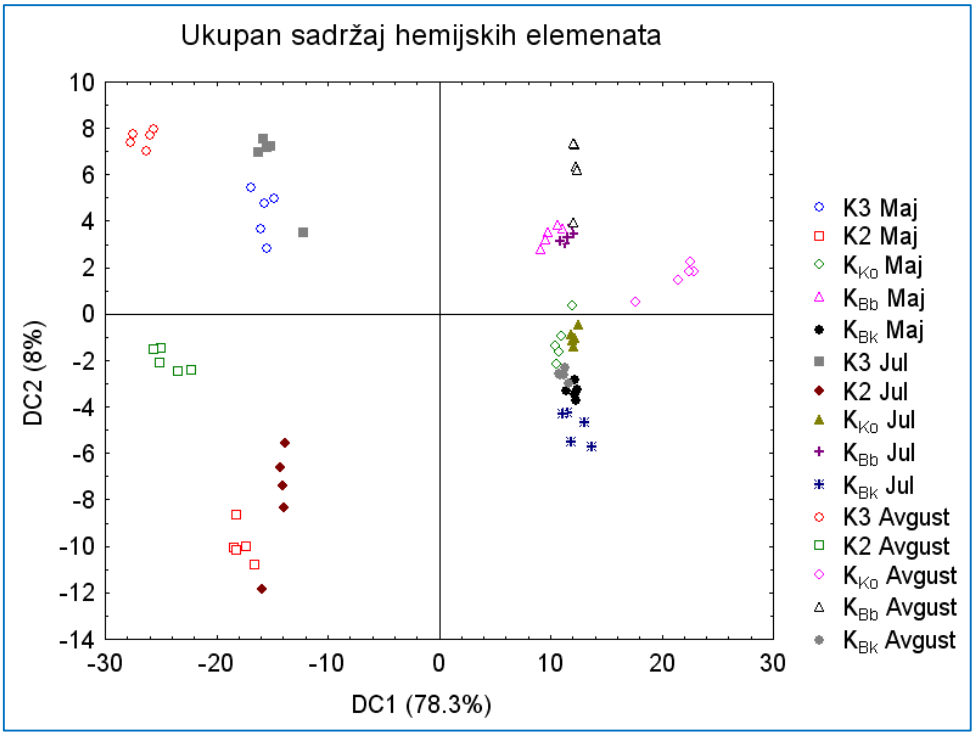
Slika 24. Ukupan sadržaj Zn u pepelu i zemljištu na različitim staništima tokom sezone. Poređenja su sledeća: (a) Maj - Jul; (b) Maj - Avgust; (c) Jul – Avgust (dvofaktorska ANOVA, n = 5; *** $p<0.001$, ns = nema značajnih razlika).

Koncentracije As, B, Cu, Mn, Mo, Se i Zn su na K3 i K2 bile manje u odnosu na K1. Sadržaj As, B, Cu, Mn i Zn je bio značajno veći, a Mo manji na K3 u odnosu na K2, dok je sadržaj Se varirao tokom sezone. Takođe, sadržaj As, B, Cu, Mo i Se je bio veći, a Mn i Zn manji na K3 i K2 u odnosu na kontrolna staništa.

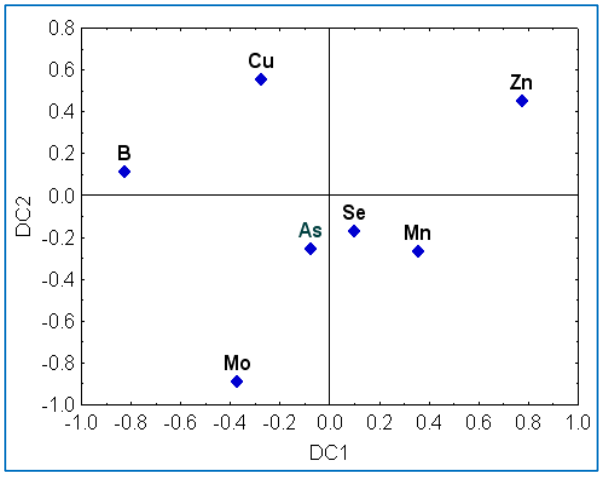
Rezultati analize sezonske dinamike sadržaja hemijskih elemenata su pokazali da su se koncentracije B, Cu i Se povećavale, a As i Mo smanjivale tokom sezone na K3, za razliku od Mn i Zn. Na K2, sadržaj As, Cu, Mn, Mo i Se je bio najmanji u maju, B u avgustu, dok je sadržaj Zn bio sličan tokom cele sezone. Sadržaj Se varirao tokom sezone na obe kasete.

Rezultati **kanonijske dikriminacione analize ukupnog sadržaja hemijskih elemenata** u pepelu deponije i zemljištu sa kontrolnih staništa tokom sezone su prikazani na Slikama 25 i 26. Dobijene su dve diskriminacione funkcije koje objašnjavaju celoukupnu varijansu uzorka, pri čemu prva funkcija (DC1) pruža znatno veću mogućnost objašnjenja ukupne varijabilnosti (78.3%) u odnosu na drugu diskriminacionu funkciju (DC2, koja iznosi 8%).

Prema DC1 zapaža se značajno odvajanje svih kontrolnih staništa (K_{Ko}, K_{Bb} i K_{Bk}) u odnosu na kasete (K3 i K2) deponije pepela tokom sezone, pri čemu razdvajanju između grupa najviše doprinose B i Zn. Prema DC2 zapaža se značajno odvajanje K3 od K2, kao i K_{Bb} od K_{Bk}, a razlikama između datih grupa najviše doprinose Cu i Mo.



Slika 25. Kanonijska diskriminaciona analiza – grupisanje staništa tokom sezone na osnovu ukupnog sadržaja hemijskih elemenata u pepelu i zemljištu.



Ukupan sadržaj hemijskih elemenata	Diskriminaciona funkcija 1 DC1	Diskriminaciona funkcija 2 DC2
As	-0.0741	-0.25588
B	**-0.8257**	0.11069
Cu	-0.2747	**0.55061**
Mn	0.3566	-0.26688
Mo	-0.3713	**-0.88802**
Se	0.0984	-0.17140
Zn	**0.7742**	0.44982
Eigen – vrednost	318.5091	32.63043
Kumulativni procenat	0.7832	0.86342

Slika 26. Standardizovani koeficijenti za kanonijske varijable; doprinos ukupnog sadržaja hemijskih elemenata u pepelu i zemljištu varijabilnosti na različitim staništima tokom sezone.

5.3.2. Sezonska dinamika sadržaja DTPA – dostupne frakcije hemijskih elemenata u pepelu i zemljištu

Helatno jedinjenje DTPA (dietilen-triamin-pentaacetatna kiselina) ekstrahuje potencijalno mobilne i organske forme hemijskih elemenata. Procenat DTPA - dostupne frakcije u odnosu na ukupan sadržaj hemijskih elemena (%) ukazuje na proporciju rastvorenih hemijskih elemenata u zemljišnom rastvoru.

Na aktivnoj kaseti deponije pepela (K1), prosečne vrednosti DTPA – dostupne frakcije hemijskih elemenata u pepelu su se kretale sledećim redosledom: B > Mn > Zn > Cu > Mo > As > Se (Tabela 17).

Tabela 17. Sadržaj DTPA - dostupne frakcije hemijskih elemenata u pepelu aktivne kasete (K1) deponije TENT-A u Obrenovcu i udeo DTPA frakcija u odnosu na ukupan sadržaj hemijskih elemena (%).

Hemijski element (µg/g)	M ± SD	Min - Max	%
As	0.185 ± 0.007	0.176 – 0.192	0.31
B	9.249 ± 0.056	9.206 – 9.336	9.91
Cu	0.912 ± 0.009	0.902 – 0.920	1.14
Mn	3.623 ± 0.036	3.592 – 3.675	0.68
Mo	0.216 ± 0.005	0.210 – 0.222	4.96
Se	0.163 ± 0.015	0.140 – 0.174	3.70
Zn	1.428 ± 0.028	1.404 – 1.471	2.21

n = 5, M ± SD, Min – minimalne vrednosti, Max – maksimalne vrednosti.

Udeo DTPA - dostupne frakcije u odnosu na ukupan sadržaj hemijskih elemenata je varirao. Najveći udeo je zabeležen kod B (9.91%), manji kod Mo (4.96%), Se (3.70%), Zn (2.21%) i Cu (1.14%), a najmanji kod Mn (0.68%), i As (0.31%) (Tabela 17).

Utvrđeno je da na sadržaj DTPA - dostupne frakcije As, B, Cu, Mn Mo i Zn značajno utiču stanište ($p<0.01$; $p<0.001$) i sezona ($p<0.001$; $p<0.01$), pri čemu je uticaj staništa veći za razliku od Se kod koga sezona ima značajno veći uticaj od staništa (Tabela 18).

Tabela 18. Uticaj staništa i sezone na varijabilnost DTPA - dostupne frakcije hemijskih elemenata u pepelu kaseta različite starosti na deponiji i zemljištu na kontrolnim staništima.

Parametar	Stanište		Sezona		Stanište x Sezona	
	F	p	F	p	F	p
As	**264.371**	**	157.512	**	32.907	**
B	**7504.86**	***	65.41	***	197.05	***
Cu	**3721.15**	**	467.57	**	119.77	**
Mn	**1509.40**	***	10.18	***	10.97	***
Mo	**233.646**	***	59.271	***	14.153	***
Se	28.677	***	**44.968**	***	57.076	***
Zn	**6115.76**	***	18.02	***	144.42	***

dvofaktorska ANOVA

Sadržaj **DTPA – As** i udeo DTPA dostupne frakcije u odnosu na ukupan sadržaj As u pepelu na K3 i K2 je bio veći u odnosu na K1 (Tabela 17).

DTPA - dostupna frakcija As je na K2 bila značajno veća u maju u odnosu na K3 ($p<0.001$) (Tabela 19). Na svim kontrolnim staništima, DTPA - dostupne frakcije As su u maju ($p<0.001$), julu ($p<0.01$; $p<0.001$) i avgustu ($p<0.01$; $p<0.001$) bile manje u odnosu na K3 i K2 (Tabela 19).

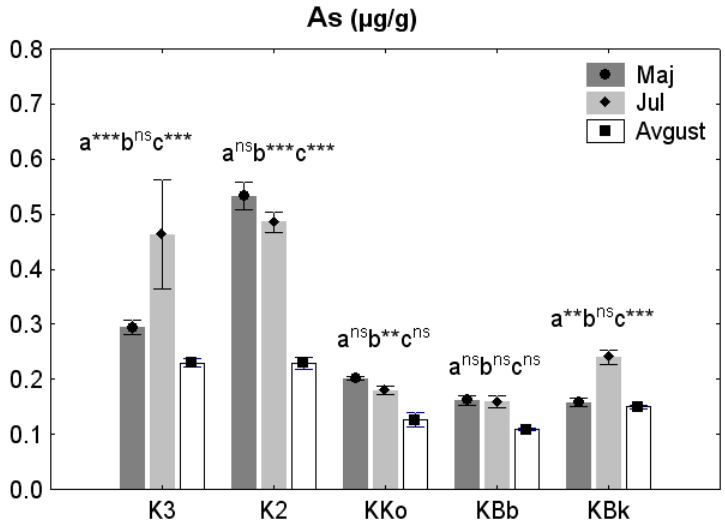
Tokom sezone, na K3 i K_{Bk}, DTPA - frakcija As je varirala, te je u julu bila veća u odnosu na maj ($p<0.001$; $p<0.01$) i avgust ($p<0.001$; $p<0.001$) (Slika 27). Na K2, sadržaj DTPA – As je u avgustu bio manji u odnosu na maj ($p<0.001$) i jul ($p<0.001$), dok je na K_{Ko} samo u avgustu bio manji u odnosu na maj ($p<0.01$) (Slika 27).

Udeo DTPA – As u odnosu na ukupan sadržaj se tokom sezone kretao na K3 od 1.23 – 2.14%, a na K2 od 1.96 – 3.74%. Najmanji udeo DTPA - frakcije As od 1.37 – 1.68% je zabeležen na K_{Bb} (Tabela 19). Udeo DTPA - As u odnosu na ukupan sadržaj As na K_{Ko} (1.74 – 2.65%) i K_{Bk} (2.29 – 3.33%) je bio veći u odnosu na K3, a manji u odnosu na K2 (Tabela 19).

Tabela 19. DTPA – dostupne frakcije As na kasetama različite starosti (K3 i K2) deponije pepela TENT- A u Obrenovcu i u zemljištu na kontrolnim staništima (K_{Ko}, K_{Bb} i K_{Bk}), i udeo DTPA – As u odnosu na ukupan sadržaj As (%).

	As (µg/g)							
	Maj							
Lokal.	M (SD)	Min - Max	%	K3	K2	K_{Ko}	K_{Bb}	K_{Bk}
K3	0.294 (0.013)	0.278 – 0.308	2.00	-	***	***	***	***
K2	0.532 (0.025)	0.506 – 0.568	3.22	***	-	***	***	***
K_{Ko}	0.202 (0.004)	0.198 – 0.206	2.65	***	***	-	ns	***
K_{Bb}	0.162 (0.009)	0.150 – 0.174	1.62	***	***	ns	-	ns
K_{Bk}	0.158 (0.008)	0.150 – 0.168	2.34	***	***	***	ns	-
	Jul							
Lokal.	M (SD)	Min - Max	%	K3	K2	K_{Ko}	K_{Bb}	K_{Bk}
K3	0.463 (0.099)	0.368 – 0.622	2.14	-	ns	***	***	**
K2	0.485 (0.019)	0.462 – 0.502	3.74	ns	-	***	***	***
K_{Ko}	0.180 (0.008)	0.170 – 0.190	2.46	***	***	-	ns	ns
K_{Bb}	0.159 (0.011)	0.146 – 0.174	1.68	***	***	ns	-	**
K_{Bk}	0.240 (0.014)	0.226 – 0.262	3.33	**	***	ns	**	-
	Avgust							
Lokal.	M (SD)	Min - Max	%	K3	K2	K_{Ko}	K_{Bb}	K_{Bk}
K3	0.230 (0.008)	0.222 – 0.242	1.23	-	ns	***	***	**
K2	0.229 (0.110)	0.220 – 0.246	1.96	ns	-	***	***	***
K_{Ko}	0.126 (0.012)	0.118 – 0.148	1.74	***	***	-	ns	ns
K_{Bb}	0.109(0.002)	0.106 – 0.110	1.37	***	***	ns	-	ns
K_{Bk}	0.150 (0.004)	0.146 – 0.156	2.29	**	***	ns	ns	-

dvofaktorska ANOVA, n=5, M (SD), Min – minimalne vrednosti, Max - maksimalne vrednosti; ** p<0.01; *** p<0.001, ns = nema značajnih razlika.



Slika 27. Sadržaj DTPA - As u pepelu i zemljištu na različitim staništima tokom sezone. Poređenja su sledeća: (a) Maj - Jul; (b) Maj - Avgust; (c) Jul – Avgust (dvofaktorska ANOVA, n = 5; ** p<0.01; *** p<0.001, ns = nema značajnih razlika).

Sadržaj DTPA – B i udeo DTPA - dostupne frakcije u odnosu na ukupan sadržaj B u pepelu na K3 i K2 je bio manji u odnosu na aktivnu K1 (Tabela 17).

DTPA - dostupna frakcija B je na K3 bila značajno veća u odnosu na K2 u maju ($p<0.001$), julu ($p<0.001$) i avgustu ($p<0.001$) (Tabela 20).

Tabela 20. DTPA – dostupne frakcije B na kasetama različite starosti (K3 i K2) deponije pepela TENT- A u Obrenovcu i u zemljištu na kontrolnim staništima (K_{Ko}, K_{Bb} i K_{Bk}), i udeo DTPA – B u odnosu na ukupan sadržaj B (%).

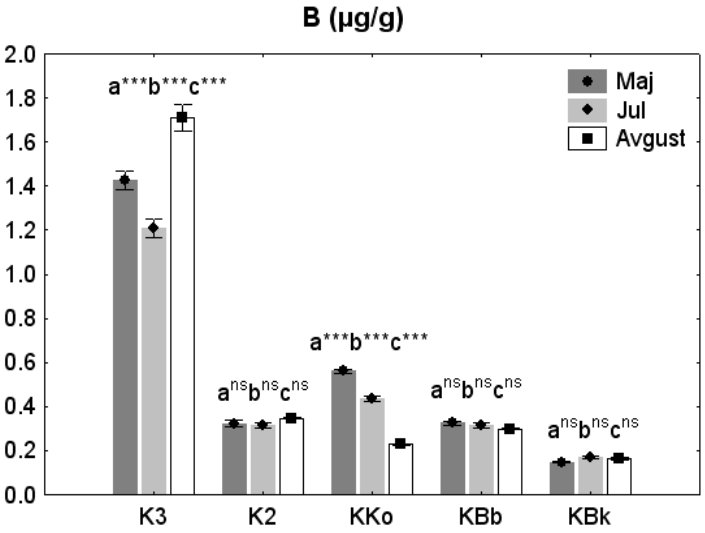
	B (µg/g)							
	Maj							
Lokal.	M (SD)	Min - Max	%	K3	K2	K_{Ko}	K_{Bb}	K_{Bk}
K3	1.425 (0.043)	1.388 – 1.422	3.54	-	***	***	***	***
K2	0.312 (0.012)	0.310 – 0.348	0.95	***	-	***	ns	***
K_{Ko}	0.560 (0.090)	0.550 – 0.570	9.76	***	***	-	***	***
K_{Bb}	0.324 (0.090)	0.316 – 0.338	3.32	***	ns	***	-	***
K_{Bk}	0.147 (0.050)	0.142 – 0.154	3.64	***	***	***	***	-
	Jul							
Lokal.	M (SD)	Min - Max	%	K3	K2	K_{Ko}	K_{Bb}	K_{Bk}
K3	1.208 (0.043)	1.160 – 1.272	2.93	-	***	***	***	***
K2	0.277 (0.005)	0.298 – 0.324	1.19	***	-	***	ns	***
K_{Ko}	0.436 (0.011)	0.420 – 0.450	13.29	***	***	-	***	***
K_{Bb}	0.313(0.013)	0.300 – 0.334	4.46	***	ns	***	-	***
K_{Bk}	0.168 (0.006)	0.162 – 0.176	3.13	***	***	***	***	-
	Avgust							
Lokal.	M (SD)	Min - Max	%	K3	K2	K_{Ko}	K_{Bb}	K_{Bk}
K3	1.710 (0.058)	1.656 – 1.794	2.96	-	***	***	***	**
K2	0.322 (0.015)	0.340 – 0.352	0.68	***	-	***	ns	***
K_{Ko}	0.227 (0.005)	0.220 – 0.232	23.89	***	***	-	**	**
K_{Bb}	0.298 (0.040)	0.292 – 0.302	11.68	***	ns	**	-	***
K_{Bk}	0.163 (0.080)	0.156 – 0.174	2.46	**	***	**	***	-

dvofaktorska ANOVA, n=5, M (SD), Min – minimalne vrednosti, Max - maksimalne vrednosti; ** $p<0.01$; *** $p<0.001$, ns = nema značajnih razlika.

Na kontrolnim staništima, DTPA dostupne - frakcije B su bile manje u maju ($p<0.001$), julu ($p<0.001$) i avgustu ($p<0.001$) u odnosu na K3 (Tabela 20). Količina DTPA – B na K_{Ko} je u maju ($p<0.001$) i julu ($p<0.001$) bila veća, a u avgustu manja ($p<0.001$) u odnosu na K2; na K_{Bk}, DTPA frakcija B je bila manja u maju ($p<0.001$), julu ($p<0.001$) i avgustu ($p<0.001$) takođe u odnosu na K2 (Tabela 20).

Tokom sezone, sadržaj DTPA - dostupne frakcije B na K3 je imao trend povećanja, te je u avgustu bio veći u odnosu na maj ($p<0.001$) i jul ($p<0.001$) (Slika 28). Na K_{Ko}, količina DTPA – B je u avgustu bila manja u odnosu na maj ($p<0.001$) i jul ($p<0.001$), dok se količina na K2, K_{Bb} i K_{Bk} tokom sezone nije značajno menjala (Slika 28).

Udeo DTPA – B u odnosu na ukupan sadržaj se tokom sezone kretao na K3 od 2.93 – 3.54%, a na K2 od 0.68 – 1.19%. Procenat DTPA - frakcije B na svim kontrolnim staništima je bio veći u odnosu na K3 i K2 i kretao se od 2.46 – 3.64% na K_{Bk}, preko 4.04 – 6.61% na K_{Bb}, do 9.76 – 23.89% na K_{Ko} (Tabela 20).



Slika 28. Sadržaj DTPA – B u pepelu i zemljištu na različitim staništima tokom sezone. Poređenja su sledeća: (a) Maj - Jul; (b) Maj - Avgust; (c) Jul – Avgust (dvofaktorska ANOVA, n = 5; *** $p<0.001$, ns = nema značajnih razlika).

Sadržaj **DTPA – Cu** u pepelu na K3 i K2 je bio manji u odnosu na K1 (Tabela 17). Međutim, udeo DTPA - dostupne frakcija u odnosu na ukupan sadržaj Cu na K3 i K2 je bio veći u odnosu na K1 (Tabela 21).

DTPA - dostupna frakcija Cu je na K3 bila veća u odnosu na K2 u maju ($p<0.001$), julu ($p<0.001$) i avgustu ($p<0.001$) (Tabela 21).

Na skoro svim kontrolnim staništima, DTPA - dostupne frakcije Cu su bile veće u odnosu na K3 i K2 u maju ($p<0.01$; $p<0.001$), julu ($p<0.001$) i avgustu ($p<0.01$; $p<0.001$), izuzev na K_{Ko} u maju (Tabela 21).

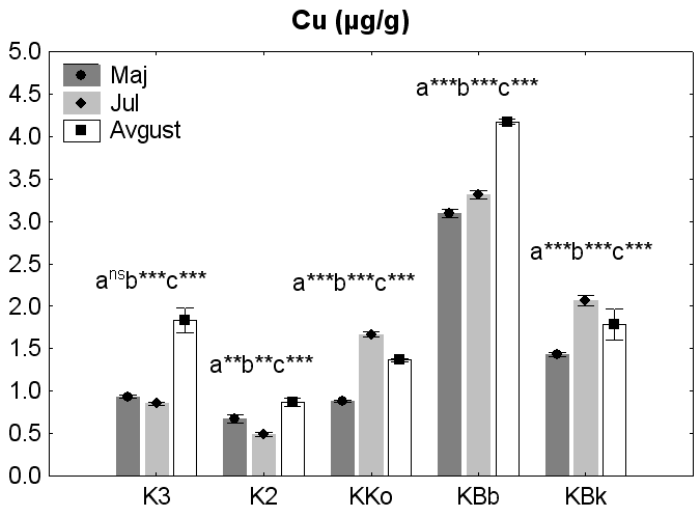
Tokom sezone, sadržaj DTPA - dostupne frakcije Cu je na K3, K2 i K_{Bb} je imao trend povećanja, tako da je u avgustu bio veći u odnosu na maj ($p<0.001$; $p<0.01$; $p<0.001$) i jul ($p<0.001$; $p<0.001$; $p<0.001$) (Slika 29). Na K_{Ko} i K_{Bk}, količina DTPA – Cu je bila veća u julu u odnosu na maj ($p<0.001$; $p<0.001$) i avgust ($p<0.001$; $p<0.001$), (Slika 29).

Udeo DTPA – Cu u odnosu na ukupan sadržaj se tokom sezone kretao na K3 od 1.85 – 2.94%, a na K2 od 1.34 – 1.97% (Tabela 21). Udeo DTPA - frakcije Cu na svim kontrolnim staništima je bio veći u odnosu na K3 i K2 i kretao se od 6.02 – 7.83% na K_{Bk}, preko 6.52 – 9.23 % na K_{Ko}, i od 9.14 – 10.77% na K_{Bb} (Tabela 21).

Tabela 21. DTPA – dostupne frakcije Cu na kasetama različite starosti (K3 i K2) deponije pepela TENT- A u Obrenovcu i u zemljištu na kontrolnim staništima (K_{Ko}, K_{Bb} i K_{Bk}), i udeo DTPA – Cu u odnosu na ukupan sadržaj Cu (%).

	Cu (µg/g)							
	Maj							
Lokal.	M (SD)	Min - Max	%	K3	K2	K_{Ko}	K_{Bb}	K_{Bk}
K3	0.935 (0.024)	0.918 – 0.976	1.85	-	***	ns	***	***
K2	0.671 (0.048)	0.608 – 0.732	1.61	***	-	**	***	***
K_{Ko}	0.882 (0.090)	0.868 – 0.892	6.52	ns	**	-	***	***
K_{Bb}	3.095 (0.050)	3.028 – 3.146	9.14	***	***	***	-	***
K_{Bk}	1.435 (0.024)	1.406 – 1.462	6.02	***	***	***	***	-
	Jul							
Lokal.	M (SD)	Min - Max	%	K3	K2	K_{Ko}	K_{Bb}	K_{Bk}
K3	0.852 (0.022)	0.818 – 0.876	1.72	-	***	***	***	***
K2	0.485 (0.022)	0.608 – 0.732	1.34	***	-	***	***	***
K_{Ko}	1.666 (0.031)	1.616 – 1.700	9.23	***	***	-	***	***
K_{Bb}	3.310 (0.047)	3.264 – 3.359	9.42	***	***	***	-	***
K_{Bk}	2.068 (0.062)	2.008 – 2.162	7.82	***	***	***	***	-
	Avgust							
Lokal.	M (SD)	Min - Max	%	K3	K2	K_{Ko}	K_{Bb}	K_{Bk}
K3	1.831 (0.149)	1.626 – 2.042	2.94	-	***	***	***	**
K2	0.868 (0.046)	0.608 – 0.732	1.97	***	-	***	***	***
K_{Ko}	1.364 (0.014)	1.352 – 1.386	8.13	***	***	-	***	***
K_{Bb}	4.173 (0.032)	4.140 – 4.224	10.77	***	***	***	-	***
K_{Bk}	1.783 (0.181)	1.680 – 1.738	7.03	**	***	***	***	-

dvofaktorska ANOVA, n=5, M (SD), Min – minimalne vrednosti, Max - maksimalne vrednosti; ** $p<0.01$; *** $p<0.001$, ns = nema značajnih razlika.



Slika 29. Sadržaj DTPA – Cu u pepelu i zemljištu na različitim staništima tokom sezone. Poređenja su sledeća: (a) Maj - Jul; (b) Maj - Avgust; (c) Jul – Avgust (dvofaktorska ANOVA, n = 5; **p<0.01; *** p<0.001).

Sadržaj **DTPA – Mn** i udeo DTPA - dostupne frakcije Mn u odnosu na njegov ukupan sadržaj u pepelu na K3 i K2 je bio manji u odnosu na K1 (Tabela 17), što pokazuje da je Mn čvrsto vezan za primarne minerale pepela.

Nisu bile utvrđene značajne razlike u količini DTPA - dostupne frakcije Mn između K3 i K2 u maju, julu i avgustu (Tabela 22).

Na svim kontrolnim staništima, DTPA - dostupne frakcije Mn su u odnosu na ukupan sadržaj Mn na K3 i K2 bile značajno veće u maju, julu i avgustu (p<0.001; p<0.001) (Tabela 22).

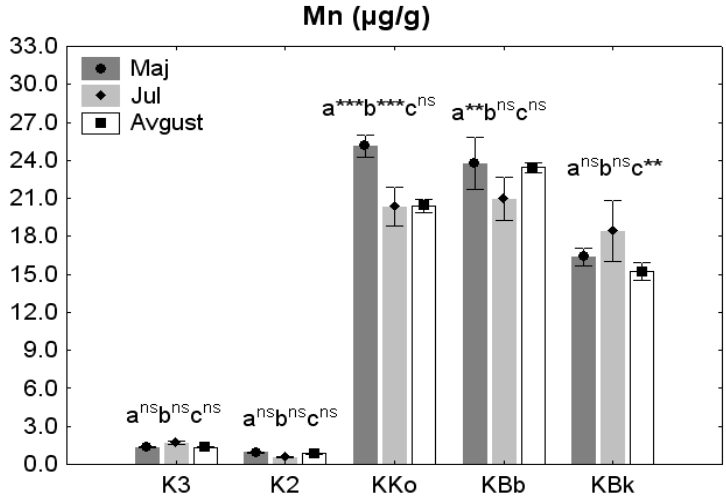
Tokom sezone, sadržaj DTPA - dostupne frakcije Mn na K3 i K2 se nije značajno menjao. Količina DTPA – Mn je na K_{Ko} u maju bila veća u odnosu na jul (p<0.001) i avgust (p<0.001), a na K_{Bb} veća u maju samo u odnosu na jul (p<0.01). Na K_{Bk}, sadržaj DTPA - dostupne frakcije Mn je u julu bio veći samo u odnosu na avgust (p<0.01), (Slika 30).

Udeo DTPA – Mn u odnosu na ukupan sadržaj se tokom sezone kretao na K3 od 0.56 – 0.70%, a na K2 od 0.35 – 0.50%. Udeo DTPA - frakcije Mn na svim kontrolnim staništima je bio veći u odnosu na K3 i K2 i kretao se od 2.39 – 2.59% na K_{Bk}, preko 3.95 – 4.93 % na K_{Bb}, do 3.29 – 5.49% na K_{Ko} (Tabela 22).

Tabela 22. DTPA – dostupne frakcije Mn na kasetama različite starosti (K3 i K2) deponije pepela TENT- A u Obrenovcu i u zemljištu na kontrolnim staništima (K_{Ko}, K_{Bb} i K_{Bk}), i udeo DTPA – Mn u odnosu na ukupan sadržaj Mn (%).

	Mn (µg/g)							
	Maj							
Lokal.	M (SD)	Min - Max	%	K3	K2	K_{Ko}	K_{Bb}	K_{Bk}
K3	1.355(0.045)	1.302 – 1.410	0.56	-	ns	***	***	***
K2	0.943(0.035)	0.892 – 0.986	0.42	ns	-	***	***	***
K_{Ko}	25.124(0.853)	23.874 – 25.774	5.49	***	***	-	ns	***
K_{Bb}	23.734(2.044)	22.477 – 27.354	4.66	***	***	ns	-	***
K_{Bk}	16.383(0.678)	15.618 – 17.234	2.43	***	***	***	***	-
	Jul							
Lokal.	M (SD)	Min - Max	%	K3	K2	K_{Ko}	K_{Bb}	K_{Bk}
K3	1.707 (0.096)	1.614 – 1.866	0.70	-	ns	***	***	***
K2	0.558(0.029)	0.526 – 0.596	0.35	ns	-	***	***	***
K_{Ko}	20.350(1.554)	18.692 – 21.818	4.11	***	***	-	ns	ns
K_{Bb}	20.941(1.716)	19.658 – 23.795	3.95	***	***	ns	-	ns
K_{Bk}	18.425(2.411)	16.663 – 22.674	2.59	***	***	ns	ns	-
	Avgust							
Lokal.	M (SD)	Min - Max	%	K3	K2	K_{Ko}	K_{Bb}	K_{Bk}
K3	1.353 (0.027)	1.332 – 1.392	0.62	-	ns	***	***	***
K2	0.853(0.055)	0.776 – 0.906	0.50	ns	-	***	***	***
K_{Ko}	20.399(0.517)	19.748 – 21.111	3.29	***	***	-	**	***
K_{Bb}	23.430(0.422)	23.012 – 23.968	4.93	***	***	**	-	***
K_{Bk}	15.197(0.700)	14.462 – 16.188	2.39	***	***	***	***	-

dvofaktorska ANOVA, n=5, M (SD), Min – minimalne vrednosti, Max - maksimalne vrednosti; **p<0.01; *** p<0.001, ns = nema značajnih razlika.



Slika 30. Sadržaj DTPA – Mn u pepelu i zemljištu na različitim staništima tokom sezone. Poređenja su sledeća: (a) Maj - Jul; (b) Maj - Avgust; (c) Jul – Avgust (dvofaktorska ANOVA, n = 5; **p<0.01; *** p<0.001; ns = nema značajnih razlika).

Sadržaj **DTPA – Mo** i procenat DTPA - dostupne frakcije Mo u odnosu na ukupan sadržaj Mo u pepelu na K3 i K2 je bio manji u odnosu na K1 (Tabela 17), što pokazuje da je Mo čvrsto vezan za minerale pepela.

DTPA dostupna frakcija Mo je na K3 u maju ($p<0.001$), julu ($p<0.05$) i avgustu ($p<0.001$) bila značajno veća u odnosu na K2 (Tabela 23).

DTPA - dostupne frakcije Mo su na svim kontrolnim staništima bile manje u maju ($p<0.001$), julu ($p<0.05$; $p<0.001$) i avgustu ($p<0.001$) u odnosu na K3. Sadržaj DTPA – Mo je bio manji na K_{Ko} i K_{Bk} u maju ($p<0.001$; $p<0.001$) i julu ($p<0.001$; $p<0.001$) i na K_{Bk} u avgustu ($p<0.001$) u odnosu na K2 (Tabela 23).

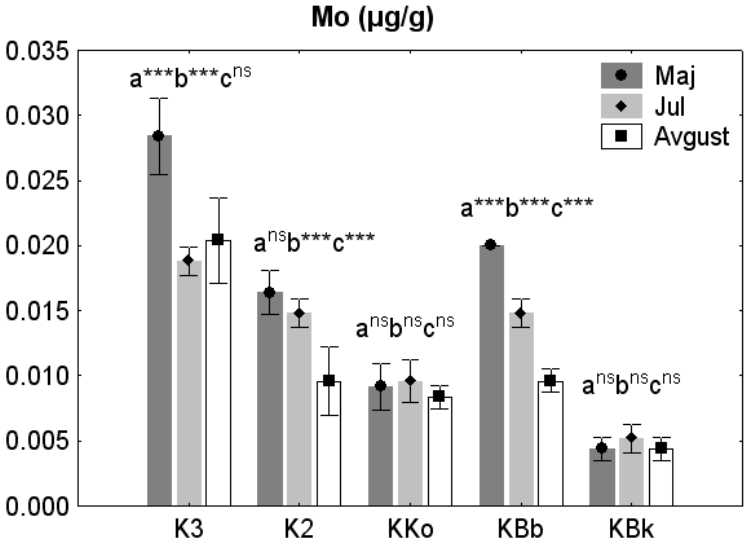
Tabela 23. DTPA – dostupne frakcije Mo na kasetama različite starosti (K3 i K2) deponije pepela TENT- A u Obrenovcu i u zemljištu na kontrolnim staništima (K_{Ko}, K_{Bb} i K_{Bk}), i udeo DTPA – Mo u odnosu na ukupan sadržaj Mo (%).

	Mo (µg/g)							
	Maj							
Lokal.	M (SD)	Min - Max	%	K3	K2	K_{Ko}	K_{Bb}	K_{Bk}
K3	0.028 (0.003)	0.024 – 0.032	1.47	-	***	***	***	***
K2	0.016 (0.002)	0.014 – 0.018	0.48	***	-	***	ns	***
K_{Ko}	0.009(0.002)	0.008 – 0.012	0.77	***	***	-	***	**
K_{Bb}	0.020 (0.000)	0.020 – 0.020	1.38	***	ns	***	-	***
K_{Bk}	0.004(0.0009)	0.004 – 0.006	0.26	***	***	**	***	-
	Jul							
Lokal.	M (SD)	Min - Max	%	K3	K2	K_{Ko}	K_{Bb}	K_{Bk}
K3	0.019 (0.01)	0.018 – 0.020	1.39	-	*	***	*	***
K2	0.015 (0.001)	0.014 – 0.016	0.50	*	-	***	ns	***
K_{Ko}	0.010 (0.002)	0.008 – 0.012	0.77	***	***	-	***	**
K_{Bb}	0.015 (0.001)	0.014 – 0.016	1.06	*	ns	***	-	***
K_{Bk}	0.005 (0.001)	0.004 – 0.006	0.26	***	***	**	***	-
	Avgust							
Lokal.	M (SD)	Min - Max	%	K3	K2	K_{Ko}	K_{Bb}	K_{Bk}
K3	0.020 (0.003)	0.018 – 0.026	1.15	-	***	***	***	***
K2	0.010 (0.003)	0.010 – 0.014	0.38	***	-	ns	ns	***
K_{Ko}	0.008(0.0009)	0.008 – 0.010	0.74	***	ns	-	ns	*
K_{Bb}	0.010(0.0009)	0.008 – 0.010	0.86	***	ns	ns	-	***
K_{Bk}	0.004(0.0009)	0.004 – 0.006	0.25	***	***	*	***	-

dvofaktorska ANOVA, n=5, M (SD), Min – minimalne vrednosti, Max - maksimalne vrednosti; *p<0.05; ** p<0.01; *** p<0.001, ns = nema značajnih razlika.

Tokom sezone, sadržaj DTPA – Mo je na K3, K2 i K_{Bb} bio veći u maju u odnosu na jul ($p<0.001$; $p<0.001$; $p<0.001$) i avgust ($p<0.001$; $p<0.001$; $p<0.001$), dok se na K_{Ko} i K_{Bk} nije značajno menjao (Slika 31).

Udeo DTPA – Mo u odnosu na njegov ukupan sadržaj se tokom sezone kretao na K3 od 1.15 – 1.47%, a na K2 od 0.38 – 0.50%. Udeo DTPA - frakcije Mo u odnosu na ukupan sadržaj Mo na svim kontrolnim staništima je bio manji u odnosu na K3 i kretao se od 0.25 – 0.26% na K_{Bk}, preko 0.74 – 0.77 % na K_{Ko}, do 0.86 – 1.38% na K_{Bb}. Udeo DTPA – Mo u odnosu na njegov ukupan sadržaj na K_{Ko} se kretao od 0.74 – 0.77%, a na K_{Bb} od 0.86 – 1.38% i bio je veći, dok je na K_{Bk} bio manji (0.25 – 0.26%) u odnosu na K2 (Tabela 23).



Slika 31. Sadržaj DTPA – Mo u pepelu i zemljištu na različitim staništima tokom sezone. Poređenja su sledeća: (a) Maj - Jul; (b) Maj - Avgust; (c) Jul – Avgust (dvofaktorska ANOVA, n = 5; *** $p<0.001$; ns = nema značajnih razlika).

Sadržaj **DTPA – Se** i procenat DTPA - dostupne frakcije Se u odnosu na ukupan sadržaj u pepelu na K3 i K2 je bio manji u odnosu na K1 (Tabela 17).

DTPA - dostupna frakcija Se je na K3 u odnosu na K2 bila značajno manja u maju ($p<0.001$), a veća u avgustu ($p<0.001$) (Tabela 24).

DTPA - dostupne frakcije Se su skoro na svim kontrolnim staništima u odnosu na K3 i K2 bile manje u maju ($p<0.01$; $p<0.001$), izuzev na K_{Bb} u odnosu na K3. U julu nisu zabeležene značajne razlike u količini DTPA – Se između kontrolnih staništa i deponija pepela. U avgustu je količina DTPA – Se na svim kontrolnim staništima bila manja u odnosu na K3 ($p<0.001$), dok je na K_{Ko} i K_{Bk} bila veća u odnosu na K2 ($p<0.001$) (Tabela 24).

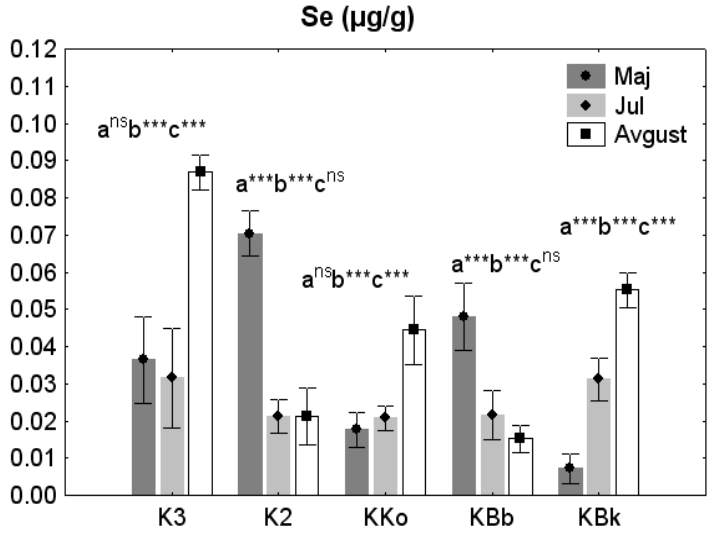
Tokom sezone, sadržaj DTPA – Se je na K3, K_{Ko} i K_{Bk} u avgustu bila veća u odnosu na maj ($p<0.001$; $p<0.001$; $p<0.001$) i jul ($p<0.001$; $p<0.001$; $p<0.001$). Na K2 i K_{Bb}, sadržaj DTPA – Se je u maju bio veći u odnosu na jul ($p<0.001$, $p<0.001$) i avgust ($p<0.001$; $p<0.001$) (Slika 32).

Udeo DTPA – Se u odnosu na ukupan sadržaj se tokom sezone kretao na K3 od 1.33 – 2.47%, a na K2 od 0.87 – 1.65%. Udeo DTPA - frakcije Se u odnosu na njegov ukupni sadržaj na svim kontrolnim staništima je bio veći u odnosu na K3 i K2 i kretao se od 1.79 – 4.51% na K_{Bk}, preko 5.30 – 6.43% na K_{Ko}, do 1.81 – 17.78% na K_{Bb} (Tabela 24).

Tabela 24. DTPA – dostupne frakcije Se na kasetama različite starosti (K3 i K2) deponije pepela TENT- A u Obrenovcu i u zemljištu na kontrolnim staništima (K_{Ko}, K_{Bb} i K_{Bk}), i udeo DTPA – Se u odnosu na ukupan sadržaj Se (%).

	Se (µg/g)							
	Maj							
Lokal.	M (SD)	Min - Max	%	K3	K2	K_{Ko}	K_{Bb}	K_{Bk}
K3	0.036 (0.012)	0.026 – 0.050	1.33	-	***	**	ns	***
K2	0.070 (0.006)	0.062 – 0.078	1.65	***	-	***	***	***
K_{Ko}	0.018 (0.005)	0.012 – 0.024	6.43	**	***	-	***	ns
K_{Bb}	0.048 (0.009)	0.038 – 0.060	17.78	ns	***	***	-	***
K_{Bk}	0.007 (0.004)	0.002 – 0.012	1.79	***	***	ns	***	-
	Jul							
Lokal.	M (SD)	Min - Max	%	K3	K2	K_{Ko}	K_{Bb}	K_{Bk}
K3	0.032 (0.013)	0.014 – 0.050	1.64	-	ns	ns	ns	ns
K2	0.021(0.007)	0.016 – 0.028	1.27	ns	-	ns	ns	ns
K_{Ko}	0.021(0.003)	0.018 – 0.026	6.18	ns	ns	-	ns	ns
K_{Bb}	0.022 (0.007)	0.012 – 0.028	3.28	ns	ns	ns	-	ns
K_{Bk}	0.031(0.006)	0.024 – 0.036	3.65	ns	ns	ns	ns	-
	Avgust							
Lokal.	M (SD)	Min - Max	%	K3	K2	K_{Ko}	K_{Bb}	K_{Bk}
K3	0.087 (0.005)	0.080 – 0.092	2.47	-	***	***	***	***
K2	0.021 (0.004)	0.012 – 0.030	0.87	***	-	***	ns	***
K_{Ko}	0.044 (0.009)	0.034 – 0.056	5.30	***	***	-	***	ns
K_{Bb}	0.015 (0.003)	0.010 – 0.020	1.81	***	ns	***	-	***
K_{Bk}	0.055(0.005)	0.052 – 0.062	4.51	***	***	ns	***	-

dvofaktorska ANOVA, n=5, M (SD), Min –minimalne vrednosti, Max-maksimalne vrednosti; **p<0.01; *** p<0.001, ns = nema značajnih razlika.



Slika 32. Sadržaj DTPA – Se u pepelu i zemljištu na različitim staništima tokom sezone. Poređenja su sledeća: (a) Maj - Jul; (b) Maj - Avgust; (c) Jul – Avgust (dvofaktorska ANOVA, n = 5; *** $p<0.001$; ns = nema značajnih razlika).

Sadržaj **DTPA – Zn** i udeo DTPA - dostupne frakcije Zn u odnosu na ukupan sadržaj u pepelu na K3 i K2 je bio veći u odnosu na K1 (Tabela 17), što ukazuje na slabu vezanost za minerale pepela i veću mobilnost Zn.

DTPA - dostupna frakcija Zn je na K3 u odnosu na K2 bila veća u maju ($p<0.01$) i julu ($p<0.001$) (Tabela 25).

DTPA - dostupne frakcije Zn na K_{Ko} i K_{Bb} si bile značajno veće u maju ($p<0.001$; $p<0.001$), julu ($p<0.01$; $p<0.001$) i avgustu ($p<0.001$; $p<0.001$) u odnosu na K3 i K2, dok su na K_{Bk} bile manje u maju i julu ($p<0.001$) u odnosu na K3 i samo u maju ($p<0.001$) u odnosu na K2 (Tabela 25).

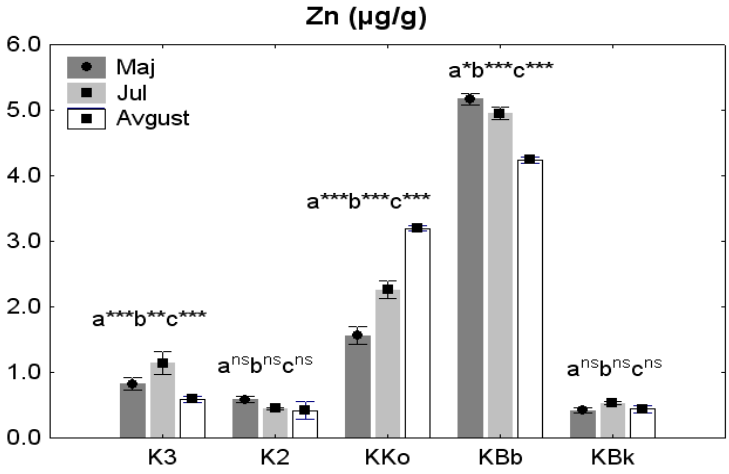
Tokom sezone, DTPA - dostupna frakcija Zn je na K3 bila veća u julu u odnosu na maj ($p<0.001$) i avgust ($p<0.001$), na K2 je u avgustu bila veća u odnosu na maj ($p<0.001$) i jul ($p<0.001$), a na K_{Bb} je u maju bila veća u odnosu na jul ($p<0.05$) i avgust ($p<0.001$) (Slika 33).

Udeo DTPA – Zn u odnosu na ukupan sadržaj se tokom sezone kretao na K3 od 1.66 – 2.20%, a na K2 od 2.29 – 3.36%. Procenat DTPA - frakcije Zn u odnosu na njegov ukupni sadržaj je na K_{Ko} i K_{Bb} bio veći u odnosu na K3 i K2 i kretao se od 2.61 – 3.63% na $K_{Ko,}$ preko 5.33 – 5.94 na K_{Bb}, do 0.69 – 0.78% na K_{Bk} (Tabela 25).

Tabela 25. DTPA – dostupne frakcije Zn na kasetama različite starosti (K3 i K2) deponije pepela TENT- A u Obrenovcu i u zemljištu na kontrolnim staništima (K_{Ko}, K_{Bb} i K_{Bk}), i udeo DTPA – Zn u odnosu na ukupan sadržaj Zn (%).

	Zn (µg/g)							
	Maj							
Lokal.	M (SD)	Min - Max	%	K3	K2	K_{Ko}	K_{Bb}	K_{Bk}
K3	0.824 (0.091)	0.750 – 0.978	1.66	-	**	***	***	***
K2	0.585 (0.048)	0.510 – 0.642	1.97	**	-	***	***	***
K_{Ko}	1.563 (0.137)	1.320 – 1.652	2.61	***	***	-	***	***
K_{Bb}	5.169 (0.090)	5.048 – 5.286	5.94	***	***	***	-	***
K_{Bk}	0.417 (0.037)	0.392 – 0.482	0.74	***	***	***	***	-
	Jul							
Lokal.	M (SD)	Min - Max	%	K3	K2	K_{Ko}	K_{Bb}	K_{Bk}
K3	1.144 (0.172)	1.022 – 1.446	2.20	-	***	***	***	***
K2	0.448 (0.021)	0.424 – 0.474	2.29	***	-	***	***	ns
K_{Ko}	2.259 (1.380)	2.154 – 2.494	3.63	***	***	-	***	***
K_{Bb}	4.951 (0.095)	4.893 – 5.090	5.72	***	***	***	-	***
K_{Bk}	0.530 (0.024)	0.510 – 0.562	0.78	***	ns	***	***	-
	Avgust							
Lokal.	M (SD)	Min - Max	%	K3	K2	K_{Ko}	K_{Bb}	K_{Bk}
K3	0.588 (0.045)	0.526 – 0.632	1.48	-	ns	***	***	ns
K2	0.419 (0.133)	0.384 – 0.654	3.36	ns	-	***	***	ns
K_{Ko}	3.196 (0.043)	3.150 – 3.262	3.06	***	***	-	***	***
K_{Bb}	4.241 (0.052)	4.196 – 4.320	5.33	***	***	***	-	***
K_{Bk}	0.438 (0.059)	0.386 – 0.536	0.69	ns	ns	***	***	-

dvofaktorska ANOVA, n=5, M (SD), Min – minimalne vrednosti, Max - maksimalne vrednosti; **p<0.01; *** p<0.001, ns = nema značajnih razlika.



Slika 33. Sadržaj DTPA – Zn u pepelu i zemljištu na različitim staništima tokom sezone. Poređenja su sledeća: (a) Maj - Jul; (b) Maj - Avgust; (c) Jul – Avgust (dvofaktorska ANOVA, n = 5; *p<0.05; **p<0.01; *** p<0.001; ns = nema značajnih razlika).

DTPA – dostupne frakcije B, Mn, Mo, Se i Zn su na K3 i K2 bile manje u odnosu na K1. Međutim, količina DTPA – As je na obe kasete bila veća u odnosu na K1, dok je količina DTPA – Cu na K3 bila veća, a na K2 manja u odnosu na K1.

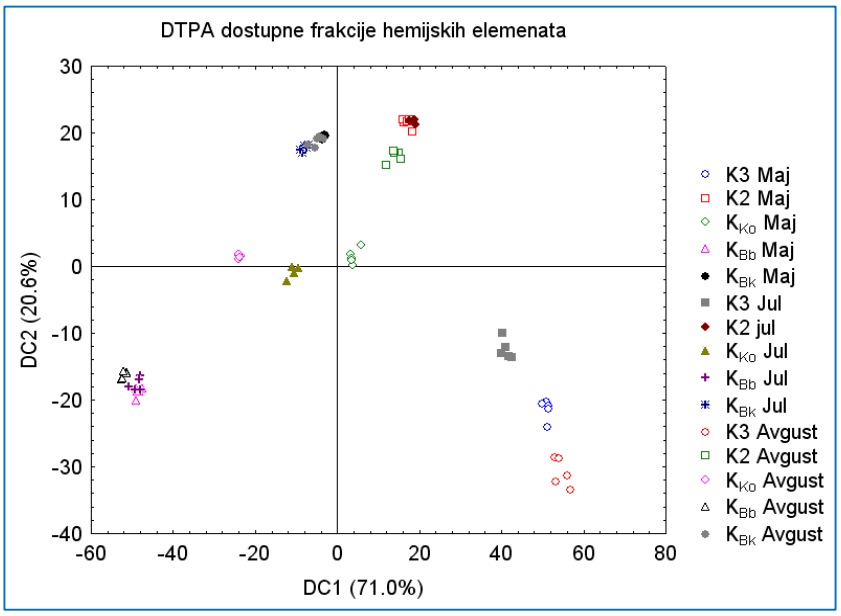
Rezultati istraživanja su pokazali da je sadržaj DTPA - dostupnih frakcija As bio manji, a B, Cu, Mo i Zn veći na K3 u odnosu na K2, dok je količina DTPA – Mn bila slična na K3 i K2.

Takođe, utvrđeno je da je sadržaj DTPA - dostupnih frakcija As, B, Mo i Se na K3 i K2 bio veći, a Cu, Mn i Zn manji u odnosu na kontrolna staništa.

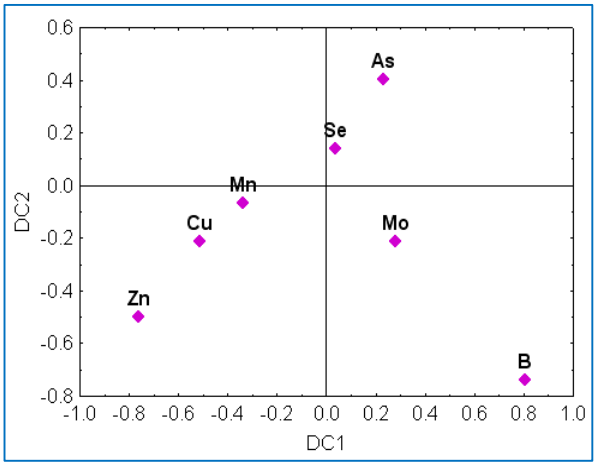
Na K3, DTPA – dostupna količina B, Cu, Se i Zn je bila najveća na kraju, As i Zn tokom, a Mo na početku sezone. Na K2, sadržaj DTPA – dostupnih frakcija As, Mo i Se je bio najmanji, a Cu i Zn najveći na kraju sezone, dok se sadržaj DTPA - B i DTPA – Mn nije značajno menjao tokom sezone.

Rezultati **kanonijske dikriminacione analize DTPA - dostupne frakcije hemijskih elemenata** u pepelu deponija i zemljištu kontrolnih staništa tokom sezone su prikazani na Slikama 34 i 35.

Prva diskriminaciona funkcija (DC1) kanonijske analize objašnjava 71.0% ukupne razlike, a druga diskriminaciona funkcija (DC2) objašnjava 20.6%. U oba slučaja se zapaža jasno razdvajanje između grupa. Prema DC1 najznačajnije je odvajanje K3 i K2 od K_{Bb} i K_{Bk}, i tim razlikama najviše pridonose elementi B i Zn. Prema DC2, jasno se odvaja K3 od K2, kao i K_{Bb} od K_{Bk}, a tom razdvajanju najviše doprinose B i Zn.



Slika 34. Kanonijska diskriminaciona analiza – grupisanje staništa tokom sezone na osnovu DTPA - dostupne frakcije hemijskih elemenata u pepelu i zemljištu.

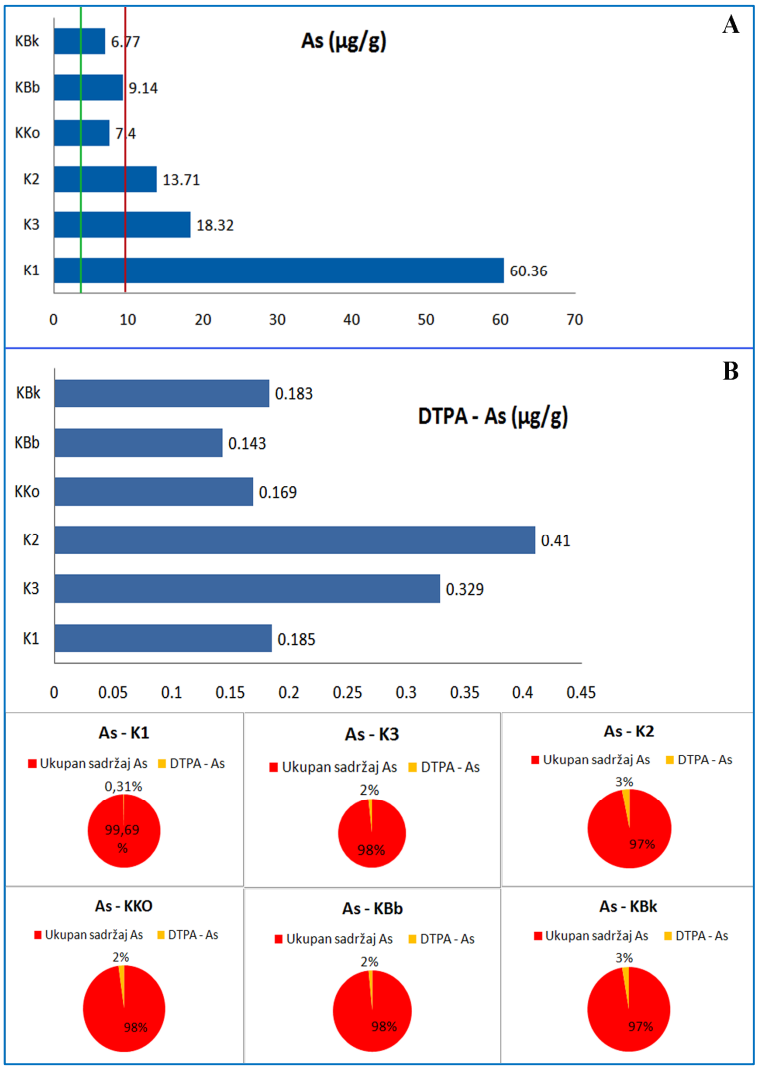


DTPA dostupne frakcije	Diskriminaciona funkcija 1 DC1	Diskriminaciona funkcija 2 DC2
As	0.229	0.4039
B	**0.805**	**-0.7408**
Cu	-0.514	-0.2136
Mn	-0.336	-0.0679
Mo	0.280	-0.2116
Se	0.038	0.1399
Zn	**-0.761**	**-0.5007**
Eigen – vrednost	1362.220	395.5950
Kumulativni procenat	0.710	0.9162

Slika 35. Standardizovani koeficijenti za kanonijske varijable; doprinos DTPA - dostupne frakcije hemijskih elemenata u pepelu i zemljištu varijabilnosti na različitim staništima tokom sezone.

5.3.3. Prosečan godišnji sadržaj ukupnih i DTPA – dostupnih frakcija hemijskih elemenata u pepelu i zemljištu

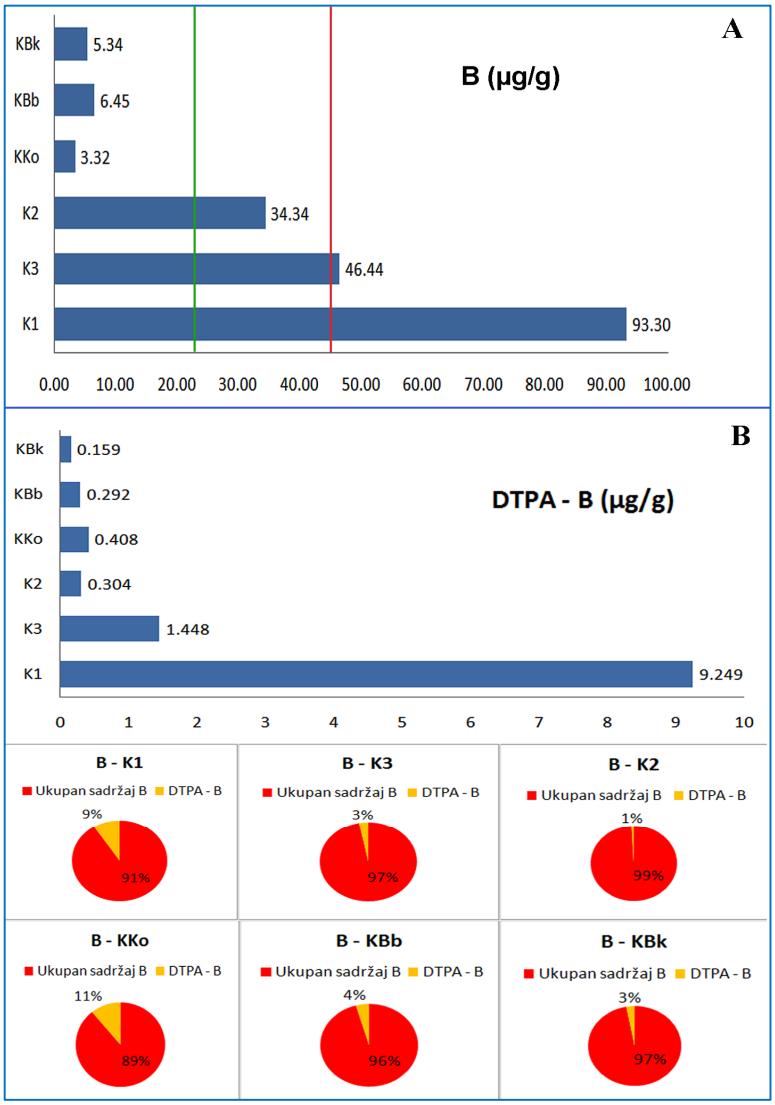
Na kasetama deponije pepela (K1, K3 i K2) **koncentracije As** višestruko prevazilaze prosečne koncentracije ovog elementa u zemljištu i ulaze u opseg toksičnih (4.4 - 9.3 µg/g, Kabata-Pendias and Pendias, 2001). Tako, na aktivnoj kaseti (K1) koncentracija As je bila čak 6.5 puta veća, u pepelu starosti 3 godine (K3) 2 puta, a u pepelu starosti 11 godina (K2) 1.5 puta veća od gornje granice opsega normalnih koncentracija. Sadržaj As na K3 je bio veći u odnosu na K2, a na deponiji pepela veći u odnosu na kontrolna staništa (Slika 36 A, Tabela 26)



Slika 36. Prosečne godišnje koncentracije As (A), kao i DTPA - dostupne frakcije As na kontrolnim staništima (K_{Ko}, K_{Bb} i K_{Bk}) i kasetama (K1, K3 i K2) deponije pepela TENT-A u Obrenovcu; udeo DTPA - As u odnosu na ukupan sadržaj (%) (B).

Koncentracija As u zemljištu sa kontrolnih staništa je bila u opsegu normalnih koncentracija. Koncentracija dostupne frakcije As je bila veća u pepelu u odnosu na zemljište. Udeo dostupne frakcije As na kasetama deponije pepela je varirao od 0.31% na K1 preko 2% na K3 do 3% na K2 (Slika 36 B, Tabela 26).

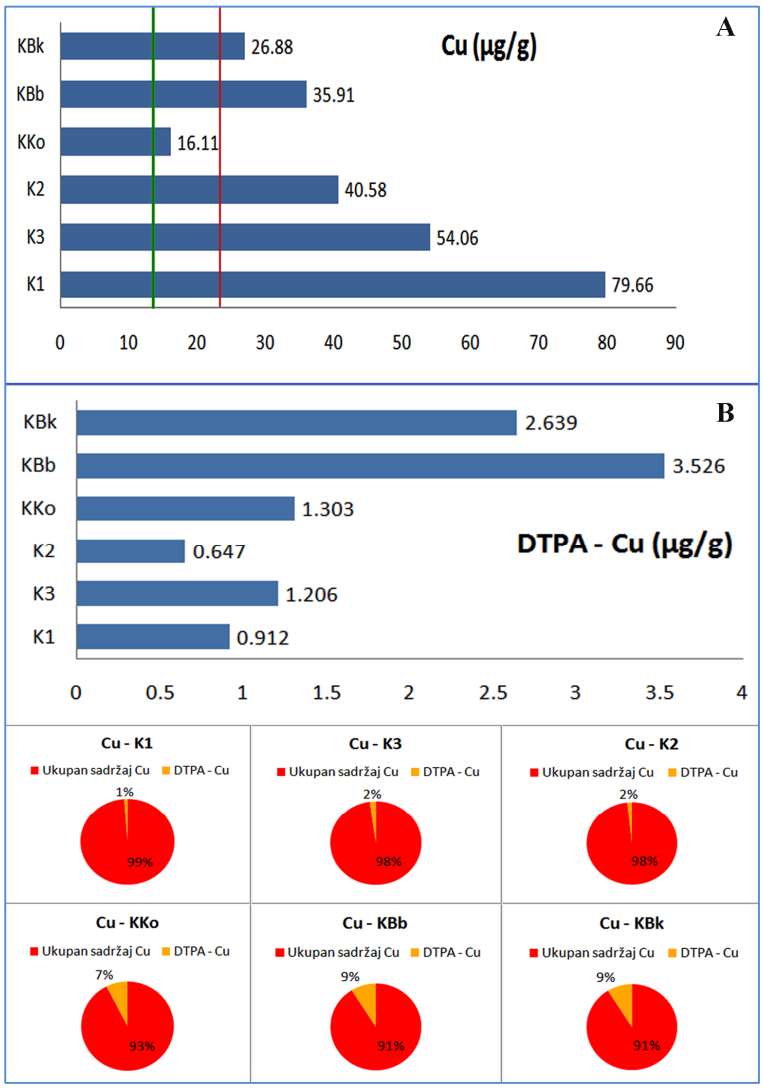
Koncentracija B na aktivnoj kaseti (K1) je bila dvostruko veća od prosečnih u zemljištu i ulazi u opseg toksičnih koncentracija (22.0 – 45.0 µg/g, Kabata – Pendias and Pendias, 2001). Na K3 koncentracija B je bila na granici toksičnosti, dok je na K2 u opsegu normalnih vrednosti. Sadržaj B je bio značajno veći na deponiji pepela u odnosu na kontrolna staništa (Slika 37 A, Tabela 26).



Slika 37. Prosečne godišnje koncentracije B (A), kao i DTPA - dostupne frakcije B na kontrolnim staništima (K_{Ko}, K_{Bb} i K_{Bk}) i kasetama (K1, K3 i K2) deponije pepela TENT-A u Obrenovcu; udeo DTPA - B u odnosu na ukupan sadržaj (%) (B).

Koncentracije B u zemljištu sa kontrolnih staništa su bile u deficitu. Dostupna koncentracija B je bila veća na K1, K3 i K2 u odnosu na kontrolna staništa (K_{Bb}, K_{Bk}), dok je na K_{Ko} bila veća u odnosu na K2. Udeo dostupne frakcije B na kasetama deponije pepela je varirao od 9% na K1 preko 3 % na K3 do 1% na K2 (Slika 37 B, Tabela 26).

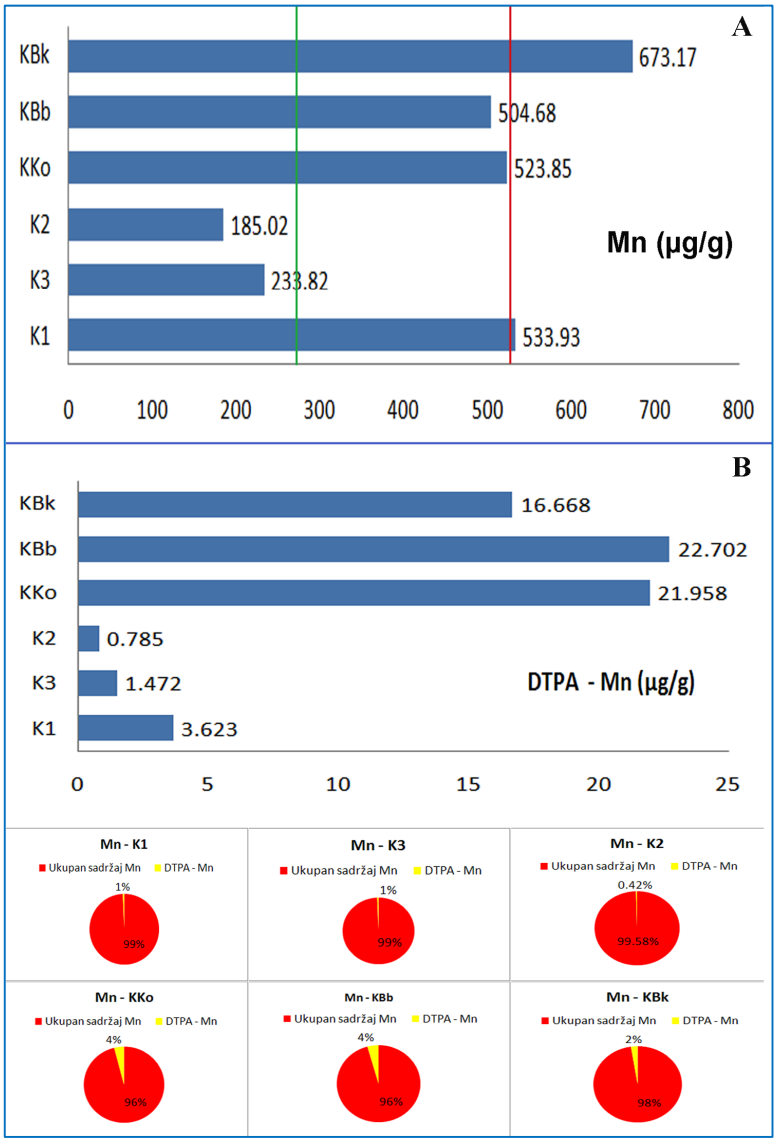
Koncentracija Cu je na kasetama deponije pepela (K1, K3 i K2) i kontrolnim staništima (K_{Bb} i K_{Bk}) bila u opsegu toksičnih vrednosti za zemljište (13.0 – 24.0 µg/g, Kabata – Pendias and Pendias, 2001), izuzev na K_{Ko}. Sadržaj Cu je bio veći na K3 u odnosu na K2, i veći nego na kontrolnim staništima (Slika 38 A, Tabela 26).



Slika 38. Prosečne godišnje koncentracije Cu (A), kao i DTPA - dostupne frakcije Cu na kontrolnim staništima (K_{Ko}, K_{Bb} i K_{Bk}) i kasetama (K1, K3 i K2) deponije pepela TENT-A u Obrenovcu; udeo DTPA - Cu u odnosu na ukupan sadržaj (%) (B).

Koncentracija Cu je na K1 bila 3.3 puta veća od prosečne, na K3 veća 2.3 puta, a na K2 1.68 puta veća od prosečne koncentracije u zemljištu. Dostupne frakcije Cu na deponiji pepela su bile manje u odnosu na zemljište kontrolna staništa. Udeo dostupne frakcije Cu na kasetama deponije pepela se kretao od 1% na K1 do 2% na K3 i K2 (Slika 38 B, Tabela 26).

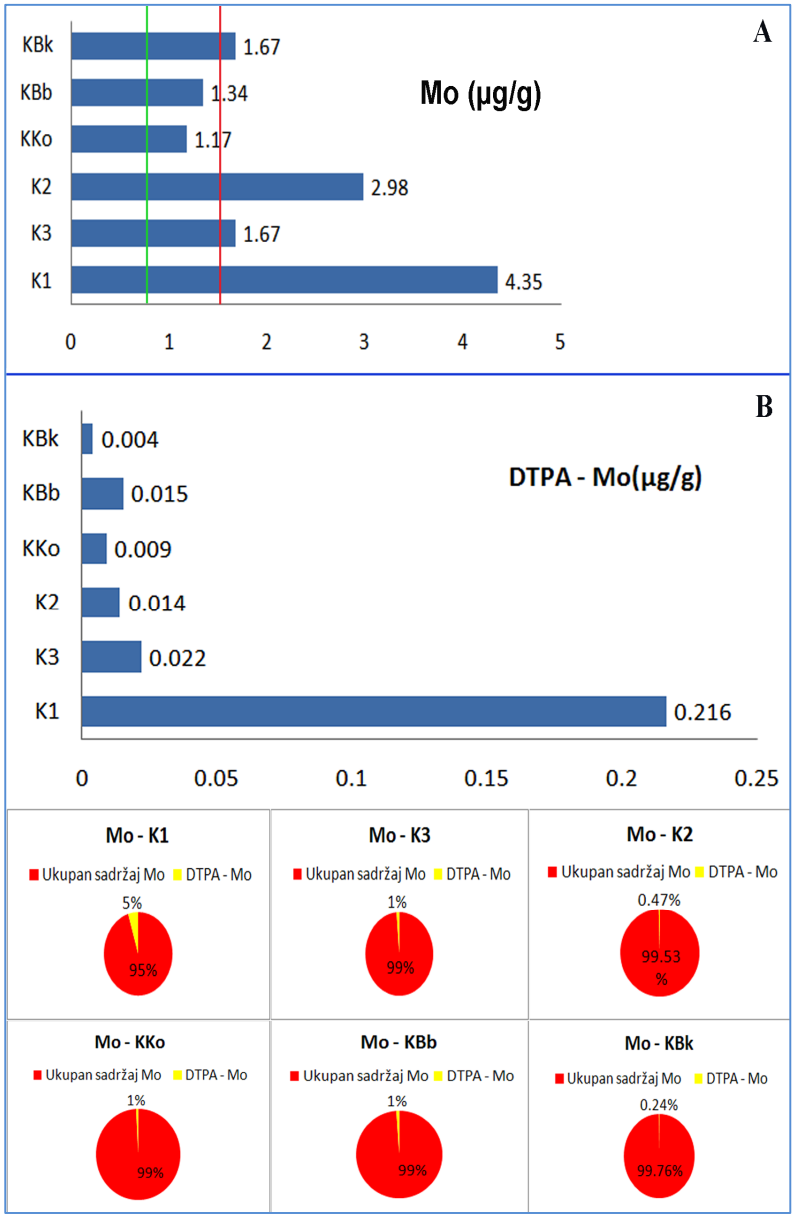
Koncentracija Mn na K1 i K_{Bk} je ulazila u opseg toksičnosti za zemljište, na K_{Ko} i K_{Bb} je bila u normalnom opsegu, dok je na K3 i K2 bila u opsegu deficita (270.0 – 525.0 µg/g, Kabata – Pendias and Pendias, 2001). Koncentracije Mn na K3 i K2 su bile manje u odnosu na kontrolna staništa (Slika 39 A, Tabela 26).



Slika 39. Prosečne godišnje koncentracije Mn (A), kao i DTPA - dostupne frakcije Mn na kontrolnim staništima (K_{Ko}, K_{Bb} i K_{Bk}) i kasetama (K1, K3 i K2) deponije pepela TENT-A u Obrenovcu; udeo DTPA - Mn u odnosu na ukupan sadržaj (%) (B).

Dostupna koncentracija Mn je bila značajno manja u pepelu na svim kasetama deponije u odnosu zemljište kontrolnih staništa. Udeo dostupne frakcije Mn na kasetama deponije pepela se kretao od 1% na K1 i K3 do 0.42% na K2 (Slika 39 B, Tabela 26).

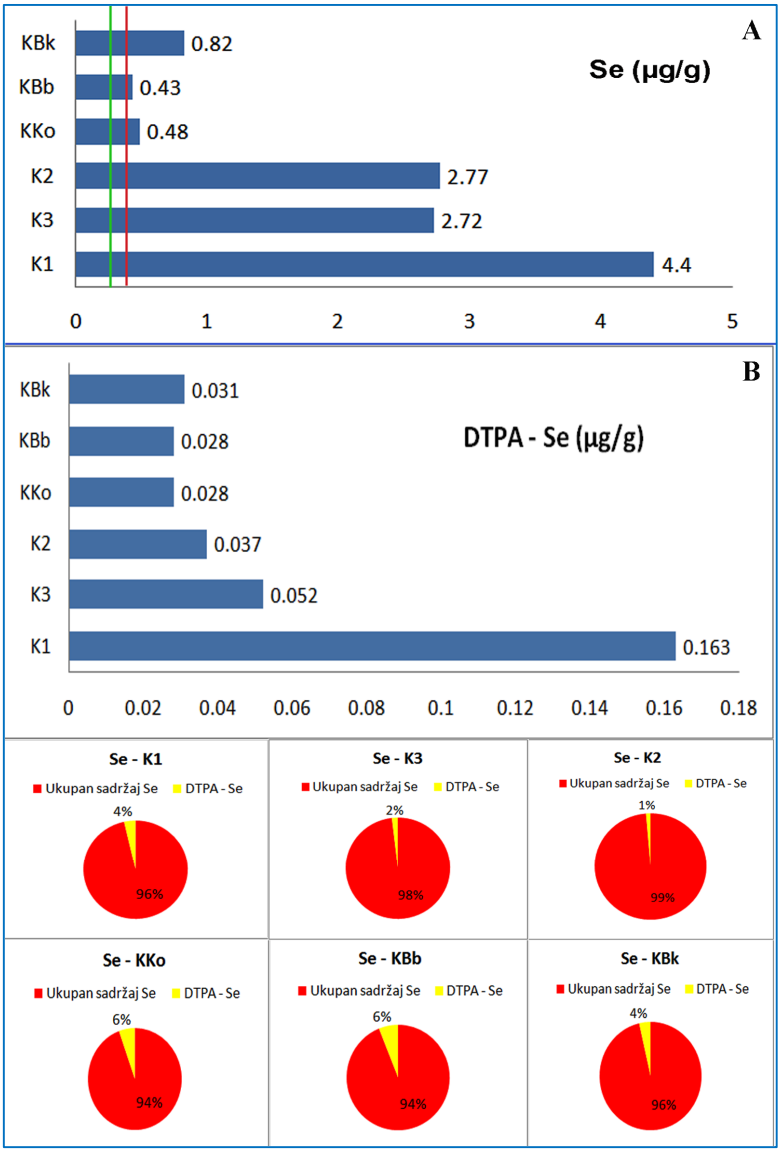
Koncentracija Mo na K1, K3, K2 i K_{Bk} je bila u opsegu toksičnih vrednosti za zemljište, dok je na K_{Ko} i K_{Bb} bila u opsegu prosečnih (0.7 – 1.5 µg/g, Kabata – Pendias and Pendias, 2001). Sadržaj Mo na K2 je bio značajno veći u odnosu na K3 i sva kontrolna staništa (Slika 40 A, Tabela 26).



Slika 40. Prosečne godišnje koncentracije Mo (A), kao i DTPA - dostupne frakcije Mo na kontrolnim staništima (K_{Ko}, K_{Bb} i K_{Bk}) i kasetama deponije pepela TENT-A u Obrenovcu; udeo DTPA - Mo u odnosu na ukupan sadržaj (%) (B).

Dostupna koncentracija Mo je bila uglavnom veća na deponiji pepela u odnosu na kontrolna staništa. Udeo dostupne frakcije Mo na deponijama pepela varira od 5% na K1 preko 1% na K3 do 0.47% na K2 (Slika 40 B, Tabela 26).

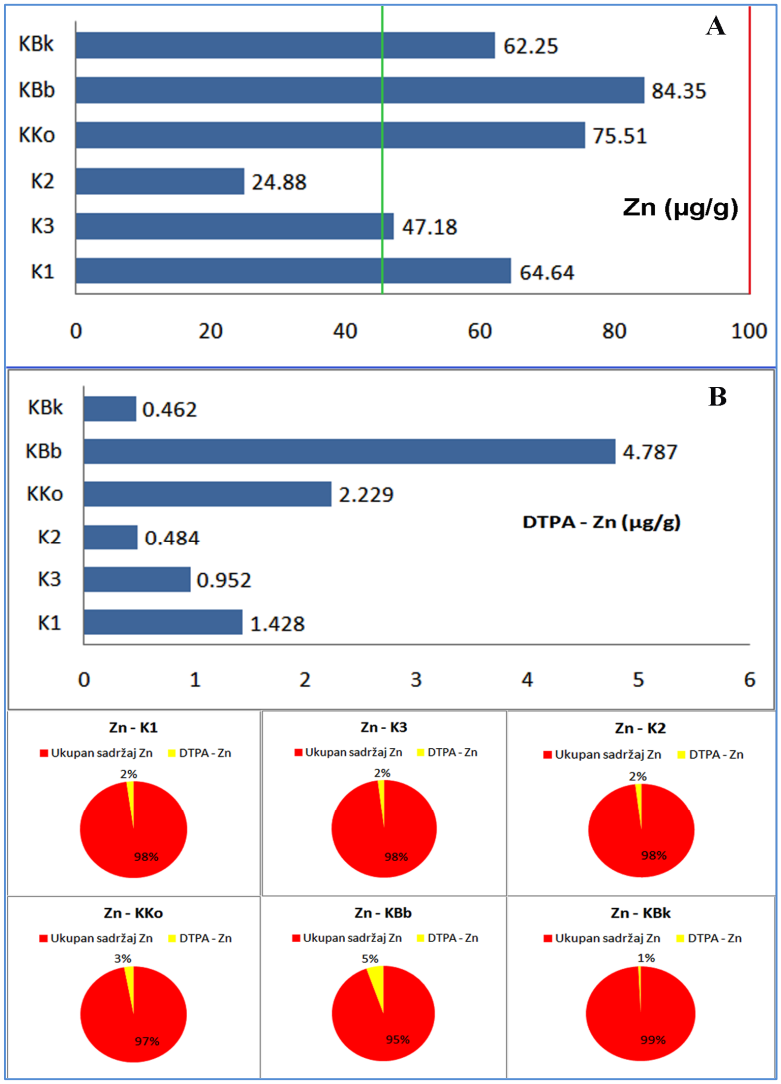
Koncentracija Se na svim ispitivanim staništima (K1, K3, K2, K_{Ko}, K_{Bb} i K_{Bk}) je bila u opsegu toksičnih koncentracija za zemljište (0.25 – 0.38 µg/g, Kabata – Pendias and Pendias, 2001). Sadržaj Se se nije značajno razlikovao između K3 i K2, ali je bio veći u odnosu na kontrolna staništa (Slika 41 A, Tabela 26).



Slika 41. Prosečne godišnje koncentracije Se (A), kao i DTPA - dostupne frakcije Se na kontrolnim staništima (K_{Ko}, K_{Bb} i K_{Bk}) i kasetama (K1, K3 i K2) deponije pepela TENT-A u Obrenovcu; udeo DTPA - Se u odnosu na ukupan sadržaj (%) (B)

Na K1 koncentracija Se je čak 11.5 puta bila veća, a na K3 i na K2 veća 7 puta u odnosu na normalnu koncentraciju (Slika 41 A, Tabela 26). Dostupna koncentracija Se je na svim kasetama deponije pepela bila veća u odnosu na kontrolna staništa. Udeo dostupne frakcije Se u pepelu je varirao od 4% na K1 preko 2% na K3 do 1% na K2. (Slika 41 B, Tabela 26).

Koncentracija Zn je na K1, K3, K_{Ko}, K_{Bb} i K_{Bk} bila u opsegu normalnih koncentracija za zemljište, dok je na K2 bila u deficitu (45.0 – 100.0 µg/g, Kabata – Pendias and Pendias, 2001). Koncentracije Zn na K3 i K2 su bile manje u odnosu na sva kontrolna staništa (Slika 42 A, Tabela 26)



Slika 42. Prosečne godišnje koncentracije Zn (A), kao i DTPA - dostupne frakcije Zn na kontrolnim staništima (K_{Ko}, K_{Bb} i K_{Bk}) i kasetama (K1, K3 i K2) deponije pepela TENT-A u Obrenovcu; udeo DTPA - Zn u odnosu na ukupan sadržaj (%) (B).

Dostupna koncentracija Zn je uglavnom bila manja na deponiji pepela u odnosu na kontrolna staništa (Slika 42 B, Tabela 26). Udeo dostupne frakcije Zn je na deponiji pepela je iznosio 2% na K1, K3 i K2 (Slika 42 B, Tabela 26).

Tabela 26. Prosečne godišnje koncentracije hemijskih elemenata (µg/g) i DTPA – dostupnih frakcija istih elemenata (µg/g) na kasetama različite starosti (K3 i K2) deponije pepela TENT-A u Obrenovcu i kontrolnim staništima (K_{Ko}, K_{Bb} i K_{Bk}).

Tot As	M (SD)	K1	K3	K2	K_{Ko}	K_{Bb}	K_{Bk}	**DTPA-As**	M (SD)	K1	K3	K2	K_{Ko}	K_{Bb}	K_{Bk}
K1	60.36 (0.865)	-	***	***	***	***	***	K1	0.185 (0.007)	-	***	***	ns	**	ns
K3	18.32 (3.477)	***	–	***	***	***	***	K3	0.329 (0.121)	***	–	*	***	***	***
K2	13.7 (2.523)	***	***	–	***	***	***	K2	0.410 (0.113)	***	*	–	***	***	***
K_{Ko}	7.40 (0.196)	***	***	***	–	***	***	K_{Ko}	0.169 (0.039)	ns	***	***	–	*	ns
K_{Bb}	9.14 (1.064)	***	***	***	***	–	***	K_{Bb}	0.143 (0.030)	**	***	***	*	–	**
K_{Bk}	6.77 (0.343)	***	***	***	***		–	K_{Bk}	0.183 (0.050)	ns	***	***	ns	**	–
Tot B	M (SD)	K1	K3	K2	K_{Ko}	K_{Bb}	K_{Bk}	**DTPA-B**	M (SD)	K1	K3	K2	K_{Ko}	K_{Bb}	K_{Bk}
K1	93.30 (1.540)	-	***	***	***	***	***	K1	9.249 (0.056)	-	***	***	***	***	***
K3	46.44 (9.855)	***	–	**	***	***	***	K3	1.448 (0.252)	***	–	***	***	***	***
K2	34.34 (11.992)	***	**	–	***	***	***	K2	0.304 (0.024)	***	***	–	**	ns	***
K_{Ko}	3.32 (3.450)	***	***	***	–	ns	ns	K_{Ko}	0.408 (0.168)	***	***	**	–	**	***
K_{Bb}	6.45 (3.644)	***	***	***	ns	–	ns	K_{Bb}	0.292 (0.013)	***	***	ns	**	–	***
K_{Bk}	5.34 (1.285)	***	***	***	ns	ns	–	K_{Bk}	0.159 (0.011)	***	***	***	***	***	–
Tot Cu	M (SD)	K1	K3	K2	K_{Ko}	K_{Bb}	K_{Bk}	**DTPA-Cu**	M (SD)	K1	K3	K2	K_{Ko}	K_{Bb}	K_{Bk}
K1	79.66 (1.774)	-	***	***	***	***	***	K1	0.912 (0.009)	-	ns	**	*	***	***
K3	54.06 (7.055)	***	–	***	***	***	***	K3	1.206 (0.543)	ns	–	**	ns	***	**
K2	40.58 (4.071)	***	***	–	***	***	***	K2	0.647 (0.191)	**	**	–	***	***	***
K_{Ko}	16.11 (2.326)	***	***	***	–	***	***	K_{Ko}	1.303 (0.395)	*	ns	***	–	***	***
K_{Bb}	35.91 (2.532)	***	***	***	***	–	***	K_{Bb}	3.526 (0.570)	***	***	***	***	–	***
K_{Bk}	26.88 (1.316)	***	***	***	***		–	K_{Bk}	2.639 (0.317)	***	**	***	***		–
Tot Mn	M (SD)	K1	K3	K2	K_{Ko}	K_{Bb}	K_{Bk}	**DTPA-Mn**	M (SD)	K1	K3	K2	K_{Ko}	K_{Bb}	K_{Bk}
K1	533.93 (11.482)	-	***	***	*	*	**	K1	3.623 (0.036)	-	***	***	***	***	***
K3	233.82 (14.566)	***	–	***	***	***	***	K3	1.472 (0.204)	***	–	***	***	***	***

K2	185.02 (34.703)	***	***	–	***	***	***	K2	0.785 (0.201)	***	***	–	***	***	***
K_{Ko}	523.85 (84.920)	*	***	***	–	ns	***	K_{Ko}	21.958 (2.742)	***	***	***	–	ns	***
K_{Bb}	504.68 (28.018)	*	***	***	ns	–	***	K_{Bb}	22.702 (1.532)	***	***	***	ns	–	***
K_{Bk}	673.17 (37.205)	**	***	***	***	***	–	K_{Bk}	16.668 (1.633)	***	***	***	***	***	–
Tot Mo	**M (SD)**	**K1**	**K3**	**K2**	**KKo**	**KBb**	**KBk**	DTPA-Mo	**M (SD)**	**K1**	**K3**	**K2**	**KKo**	**KBb**	**KBk**
K1	4.35 (0.214)	-	***	***	***	***	***	K1	0.216 (0.005)	-	***	***	***	***	***
K3	1.67 (0.272)	***	–	***	***	***	ns	K3	0.022 (0.005)	***	–	***	***	***	***
K2	2.98 (0.34)	***	***	–	***	***	***	K2	0.014 (0.003)	***	***	–	***	ns	***
KKo	1.17 (0.095)	***	***	***	–	**	***	KKo	0.009 (0.001)	***	***	***	–	***	***
KBb	1.34 (0.159)	***	***	***	**	–	***	KBb	0.015 (0.005)	***	***	ns	***	–	***
KBk	1.67 (0.208)	***	ns	***	***	***	–	KBk	0.004 (0.006)	***	***	***	***	***	–
Tot Se	**M (SD)**	**K1**	**K3**	**K2**	**KKo**	**KBb**	**KBk**	DTPA-Se	**M (SD)**	**K1**	**K3**	**K2**	**KKo**	**KBb**	**KBk**
K1	4.40 (0.559)	-	***	***	***	***	***	K1	0.163 (0.015)	-	***	***	***	***	***
K3	2.72 (0.785)	***	–	ns	***	***	***	K3	0.052 (0.011)	***	–	**	***	***	***
K2	2.77 (1.33)	***	ns	–	***	***	***	K2	0.037 (0.018)	***	**	–	ns	ns	ns
KKo	0.48 (0.301)	***	***	***	–	ns	**	KKo	0.028 (0.014)	***	***	ns	–	ns	ns
KBb	0.43 (0.212)	***	***	***	ns	–	**	KBb	0.028 (0.017)	***	***	ns	ns	–	ns
KBk	0.82 (0.416)	***	***	***	**	**	–	KBk	0.031 (0.024)	***	***	ns	ns	ns	–
Tot Zn	**M (SD)**	**K1**	**K3**	**K2**	**KKo**	**KBb**	**KBk**	DTPA-Zn	**M (SD)**	**K1**	**K3**	**K2**	**KKo**	**KBb**	**KBk**
K1	64.64 (2.678)	-	***	***	***	***	ns	K1	1.428 (0.028)	-	*	***	*	***	***
K3	47.18 (6.457)	***	–	***	***	***	***	K3	0.952 (0.442)	*	–	***	***	***	***
K2	24.88 (5.112)	***	***	–	***	***	***	K2	0.484 (0.089)	***	***	–	***	***	ns
KKo	75.51 (25.017)	***	***	***	–	ns	ns	KKo	2.229 (0.819)	*	***	***	–	***	***
KBb	84.35 (4.182)	***	***	***	ns	–	***	KBb	4.787 (0.485)	***	***	***	***	–	***
KBk	62.25 (5.755)	ns	***	***	ns	***	–	KBk	0.462 (0.060)	***	***	ns	***	***	–

Jednofaktorska ANOVA, M (SD), n = 5 (K1), n = 15 (K2, K3, K_{Ko}, K_{Bb}, K_{Bk}); **p<0.01; ***p<0.001; ns = nema značajnih razlika.

5.4. SADRŽAJ HEMIJSKIH ELEMENATA U KORENU I LISTOVIMA ISPITIVANIH BILJAKA

5.4.1. Sezonska dinamika sadržaja hemijskih elemenata u korenu ispitivanih biljaka

C. epigejos

Na sadržaj As u korenu *C. epigejos* značajno utiče stanište ($p<0.001$) i sezona ($p<0.01$), pri čemu je uticaj staništa veći (Tabela 27). Na sadržaj B u korenu utiče stanište ($p<0.001$) i sezona ($p<0.001$), pri čemu je uticaj sezone veći. Na sadržaj Cu i Zn u korenu značajno utiče samo stanište ($p<0.001$). Na sadržaj Mn u korenu značajno utiče stanište ($p<0.001$) i sezona ($p<0.01$), pri čemu je uticaj staništa veći (Tabela 27). Na sadržaj Mo u korenu značajno utiče samo sezona ($p<0.01$). Na sadržaj Se u korenu ne utiču ni stanište ni sezona (Tabela 27).

Tabela 27. Uticaj staništa i sezone na varijabilnost sadržaja hemijskih elemenata u korenu *C. epigejos*.

Parametar	Stanište		Sezona		Stanište x Sezona	
	F	p	F	p	F	p
As	**18.290**	***	5.858	**	2.612	ns
B	12.420	***	**44.228**	***	7.011	***
Cu	**235.46**	***	0.70	ns	123.97	***
Mn	**394.708**	***	239.538	***	69.57	***
Mo	2.502	ns	**6.578**	**	5.886	***
Se	1.522	ns	1.344	ns	0.720	ns
Zn	**3.518**	*	1.810	ns	19.577	***

dvofaktorska ANOVA

Sadržaj As u korenu *C. epigejos* je na K3 bio veći u odnosu K_{Ko} u maju ($p<0.01$), a na K2 u julu ($p<0.01$) i avgustu ($p<0.05$) (Tabela 28). Vrednosti As u korenu ove vrste na K3 su bile slične sa istim izmerenim na K2 u sva tri sezonska preseka. Tokom sezone, na K3, koncentracija As u korenu *C. epigejos* je samo u maju bila veća u odnosu na avgust ($p<0.01$). Na K2 i K_{Ko}, nije bilo značajnih razlika u sadržaju As u korenu tokom sezone (Slika 43).

Sadržaj B u korenu *C. epigejos* je na K2 bio veći u odnosu na K_{Ko} samo u maju ($p<0.001$) (Tabela 28). Količina B u korenu je bila veća na K2 u odnosu na K3 samo u maju ($p<0.001$). Na K3 sadržaj B u korenu je bio manji u julu u odnosu na avgust ($p<0.01$), a na K2 u julu u odnosu na maj ($p<0.001$) i avgust ($p<0.01$). Na K_{Ko}, veće koncentracije B su izmerene u avgustu u odnosu na maj ($p<0.001$) i jul ($p<0.01$) (Slika 43).

Sadržaj Mo u korenu *C. epigejos* se na K3, K2 i K_{Ko} nije značajno razlikovao (Tabela 28). Takođe, ni tokom sezone, na različitim staništima nije bilo značajnih razlika izuzev na K3 i K_{Ko}. Na K3, sadržaj Mo je u avgustu bio veći u odnosu na jul ($p<0.05$), a na K_{Ko}, je u julu bio veći u odnosu na maj ($p<0.01$) (Slika 43).

Sadržaj Cu u korenu *C. epigejos* je bio veći na kontrolnom staništu u odnosu na kasete deponije pepela izuzev u maju. Naime, količina Cu na K_{Ko} u julu i avgustu je bila veća u odnosu na K3 ($p<0.001$; $p<0.001$) i K2 ($p<0.001$; $p<0.001$). Izmerena je veća količina Cu u korenu ove vrste na K3 u odnosu na K2 u julu ($p<0.01$) i avgustu ($p<0.001$) (Tabela 28). Sadržaj Cu u korenu *C. epigejos* je na K3 u julu bio manji u odnosu na maj ($p<0.05$) i avgust ($p<0.001$). Na K2 i K_{Ko} koncentracije Cu bile značajno manje u maju u odnosu jul ($p<0.001$; $p<0.001$) i avgust ($p<0.001$; $p<0.001$), (Slika 43).

Sadržaj Mn u korenu *C. epigejos* je tokom cele sezone bio veći na kontrolnom staništu u odnosu na kasete deponije pepela (Tabela 28). Količina Mn je bila veća na K2 u odnosu na K3 u maju i avgustu ($p<0.01$; $p<0.001$) (Tabela 28). Na K3 nisu utvrđene sezonske razlike u količini Mn u korenu. Na K2 i K_{Ko}, koncentracija Mn je bila veća u avgustu u odnosu na maj ($p<0.001$; $p<0.001$) i jul ($p<0.001$; $p<0.001$) (Slika 43).

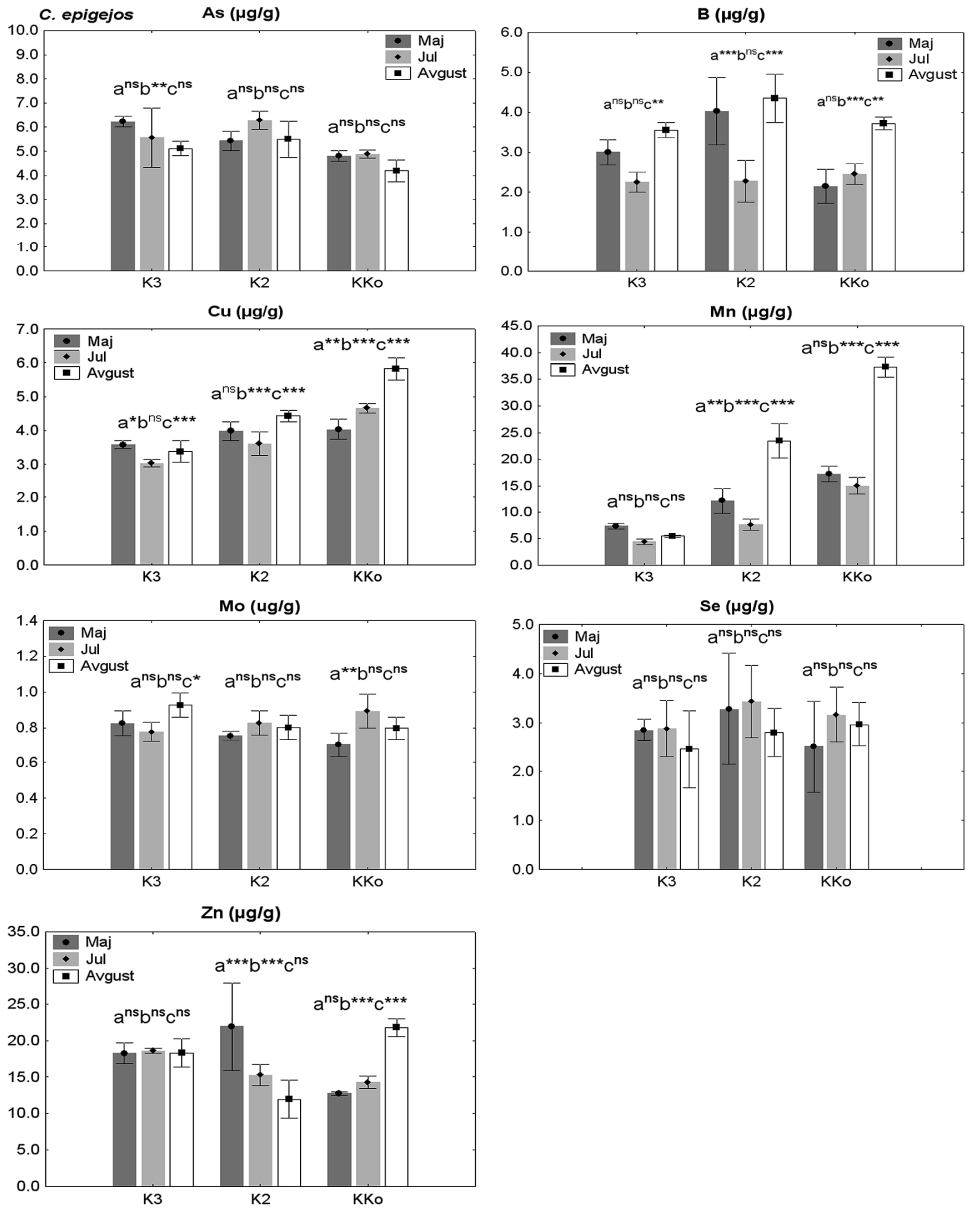
Sadržaj Se u korenu *C. epigejos* nije se značajno menjao na ispitivanim staništima tokom sezone (Tabela 28, Slika 43).

Sadržaj Zn u korenu *C. epigejos* je varirao na ispitivanim staništima. Tako je količina Zn u korenu na K_{Ko} bila manja u maju u odnosu na K3 ($p<0.05$), dok je u odnosu na K2 bila manja u maju ($p<0.001$), a veća u avgustu ($p<0.001$). Sadržaj Zn u korenu *C. epigejos* na K3 je bio veći u odnosu na K2 samo u avgustu ($p<0.01$). Tokom sezone, na K3 količina Zn u korenu se nije značajno menjala. Na K2, sadržaj Zn je u maju bio veći u odnosu na jul ($p<0.001$) i avgust ($p<0.001$). Suprotno, na K_{Ko}, sadržaj Zn se povećavao tokom sezone, u avgustu je bio veći u odnosu na maj ($p<0.001$) i jul ($p<0.001$) (Tabela 28, Slika 43).

Tabela 28. Sadržaj hemijskih elemenata u korenu *C. epigejos* na kasetama (K3 i K2) deponije pepela različite starosti TENT-A u Obrenovcu i kontrolnom staništu (K_{Ko}).

Parametar		As (µg/g)	B (µg/g)	Cu (µg/g)	Mn (µg/g)	Mo (µg/g)	Se (µg/g)	Zn (µg/g)
Maj								
K3	M (SD) Min - Max	6.23 (0.222) $a^{ns}b^{**}$ 5.88 – 6.38	3.00 (0.319) b^{ns} 2.63 – 3.50	3.58 (0.113) 3.50 – 3.75	7.35 (0.527) 6.62 – 7.88	0.83 (0.068) $a^{ns}b^{ns}c^{ns}$ 0.75 – 0.88	2.85(0.222) $a^{ns}b^{ns}$ 2.50 – 3.12	18.26(1.415) $a^{ns}b^{*}$ 16.65 – 19.64
K2	M (SD) Min – Max	5.43 (0.405) c^{ns} 5.13 – 6.14	4.03 (0.843) $a^{*}c^{***}$ 3.00 – 5.26	3.98 (0.272) a^{ns} 3.38 – 4.00	12.14 (0.369) a^{**} 9.13 – 15.28	0.75 (0.027) c^{ns} 0.72 – 0.77	3.28 (1.141) c^{ns} 1.38 – 4.38	21.95 (6.091) c^{***} 25.17 – 27.52
K_{Ko}	M (SD) Min - Max	4.80 (0.226) 4.51 – 5.13	2.15 (0.428) 1.75 – 2.88	4.03 (0.297) $b^{ns}c^{ns}$ 3.51 – 4.25	17.29 (1.515) $b^{***}c^{**}$ 16.02 – 19.90	0.70 (0.068) 0.63 – 0.75	2.50 (0.936) 0.88 – 3.13	12.76 (0.250) 12.39 – 13.01
Jul								
K3	M (SD) Min - Max	5.56 (1.222) $a^{ns}b^{ns}$ 4.13 – 7.51	2.25(0.251) $a^{ns}b^{ns}c^{ns}$ 2.00 – 2.50	3.03 (0.105) 2.88 – 3.13	4.43 (0.537) 3.88 – 5.26	0.78(0.056) $a^{ns}b^{ns}$ 0.75 – 0.88	2.88(0.582)$a^{ns}b^{ns}$ 2.13 – 3.63	18.59(0.363)$a^{ns}b^{ns}$ 18.01 – 18.90
K2	M (SD) Min - Max	6.28 (0.367) c^{**} 5.76 – 6.63	2.28 (0.520) 1.75 – 3.01	3.60 (0.349) a^{**} 3.25 – 4.01	7.61 (1.075) a^{ns} 6.51 – 9.27	0.83 (0.068) c^{ns} 0.75 – 0.88	3.43 (0.733) c^{ns} 2.63 – 4.38	15.27 (1.443) c^{ns} 14.01 – 17.66
K_{Ko}	M (SD) Min - Max	4.88 (0.175) 4.64 – 5.01	2.46 (0.262) 2.13 – 2.75	4.66(0.135)$b^{***}c^{***}$ 4.51 - 4.88	15.03(1.674) $b^{***}c^{***}$ 12.63 – 16.90	0.89 (0.096) 0.75 – 1.00	3.16 (0.561) 2.75 – 3.63	14.28 (0.878) 13.03 – 15.39
Avgust								
K3	M (SD) Min - Max	5.11 (0.298) $a^{ns}b^{ns}$ 4.76 – 5.51	3.55 (0.190) 3.25 – 3.75	4.00 (0.089) a^{***} 3.88 – 4.13	5.46 (0.210) 5.13 – 5.64	0.93 (0.068) $a^{ns}b^{ns}$ 0.87 – 1.00	2.45(0.794)$a^{ns}b^{ns}$ 1.13 – 3.25	18.30 (1.937) a^{**} 16.53 – 20.41
K2	M (SD) Min - Max	5.50 (0.750) c^{*} 4.88 – 6.38	4.35 (0.608) a^{ns} 3.76 – 5.13	1.65 (0.185) 1.38 – 1.88	23.50 (3.175) a^{***} 19.78 – 28.03	0.80 (0.068) c^{ns} 0.75 – 0.88	2.80 (0.498) c^{ns} 2.13 – 3.38	11.94 (2.608) 9.76 – 16.14
K_{Ko}	M (SD) Min - Max	4.19 (0.461) 3.67 – 4.88	3.72 (0.156) $b^{ns}c^{ns}$ 3.50 – 3.88	5.82(0.326)$b^{***}c^{***}$ 5.38 – 6.01	37.28 (1.868) $b^{***}c^{***}$ 34.29 – 38.67	0.80 (0.062) 0.75 – 0.88	2.97 (0.450) 2.50 – 3.65	21.77(1.209)$b^{ns}c^{***}$ 20.40 – 22.86

dvofaktorska ANOVA, n=5; M (SD); Min – minimalne vrednosti, Max - maksimalne vrednosti; (a) K3-K2; (b) K3-K_{Ko}; (c) K2-K_{Ko}; * $p<0.05$; ** $p<0.01$; *** $p<0.001$, ns = nema značajnih razlika.



Slika 43. Koncentracije hemijskih elemenata u korenu *C. epigejos* na različitim staništima tokom sezone. Poređenja su sledeća: (a) Maj - Jul; (b) Maj - Avgust; (c) Jul – Avgust (dvofaktorska ANOVA, n=5; * $p<0.05$; ** $p<0.01$; *** $p<0.001$, ns = nema značajnih razlika).

F. rubra

Na sadržaj As, B, Cu i Zn u korenu *F. rubra* značajno utiče stanište ($p<0.001$) i sezona ($p<0.001$), pri čemu je uticaj staništa veći. Suprotno, na sadržaj Mn u korenu utiče stanište ($p<0.001$) i sezona ($p<0.001$), ali je uticaj sezone veći. Na sadržaj Mo i Se značajno utiče samo stanište ($p<0.001$) (Tabela 29).

Tabela 29. Uticaj staništa i sezone na varijabilnost sadržaja hemijskih elemenata u korenu *F. rubra*.

Parametar	Stanište		Sezona		Stanište x Sezona	
	F	p	F	p	F	p
As	**79.068**	***	24.011	***	14.775	***
B	**209.98**	***	47.65	***	26.13	***
Cu	**750.01**	***	34.91	***	120.63	***
Mn	82.23	***	**117.84**	***	6.42	***
Mo	**80.152**	***	2.138	ns	0.654	ns
Se	**32.711**	***	2.855	ns	5.334	**
Zn	**196.78**	***	11.82	***	15.05	***

dvofaktorska ANOVA

Sadržaj As u korenu *F. rubra* je bio manji na kontrolnom staništu u odnosu na kasete deponije pepela različite starosti. Tako je količina As u korenu na K_{Bb} bila manja u julu ($p<0.001$) i avgustu ($p<0.001$) u odnosu na K3, a na K2 u maju ($p<0.001$), julu ($p<0.01$) i avgustu ($p<0.001$). Na K3 u odnosu na K2, koncentracija As je bila veća samo u julu ($p<0.001$) (Tabela 30). Tokom sezone, sadržaj As u korenu je varirao na sledeći način: na K3, koncentracije As u julu su bile veće u odnosu na maj ($p<0.001$) i avgust ($p<0.05$). Na K2, sadržaj As u korenu je u avgustu bio veći u odnosu na jul ($p<0.01$). Na K_{Bb}, nije bilo značajnih razlika u količini As u korenu tokom sezone (Slika 44).

Sadržaj B u korenu *F. rubra* je varirao između različitih staništa. Izmerene su niže koncentracije na K_{Bb} u odnosu na K3 u maju ($p<0.001$) i julu ($p<0.001$), a više u odnosu na K2 u maju ($p<0.01$), julu ($p<0.05$) i avgustu ($p<0.001$). Koncentracije B u korenu su na K3 bile veće u maju ($p<0.001$), julu ($p<0.001$) i avgustu ($p<0.001$) u odnosu na K2 (Tabela 30). Tokom sezone, vrednosti B u korenu ove vrste se nisu značajno menjale na K3. Na K2 i K_{Bb}, vrednosti B su postepeno rasle, tako da su

izmerene veće vrednosti u avgustu u odnosu na maj ($p<0.001$; $p<0.001$) i jul ($p<0.001$; $p<0.001$) (Slika 44).

Sadržaj Cu u korenu *F. rubra* je na K3 i K2 bio veći u odnosu na K_{Bb} u maju ($p<0.001$; $p<0.001$) i avgustu ($p<0.001$, $p<0.001$), dok je u julu bio veći samo na K3 u odnosu na K_{Bb} ($p<0.001$). Takođe, vrednosti Cu u korenu ove vrste na K3 su bile veće u odnosu na K2 tokom cele sezone ($p<0.001$, $p<0.001$, $p<0.01$) (Tabela 30). Tokom sezone, vrednosti Cu na K3 i K2 su u maju bile veće u odnosu na jul ($p<0.001$; $p<0.01$) i avgust ($p<0.01$; $p<0.01$). Na K_{Bb}, sadržaj Cu je u avgustu bio veći u odnosu na maj ($p<0.01$) i jul ($p<0.001$) (Slika 44).

Sadržaj Mn u korenu *F. rubra* je bio veći na kontrolnom staništu u odnosu na kasete deponije pepela različite starosti. Tako je na K_{Bb}, količina Mn u korenu bila veća u odnosu na K3 i K2 u maju ($p<0.001$; $p<0.001$) i julu ($p<0.001$; $p<0.001$), dok je u avgustu bila veća samo u odnosu na K2 ($p<0.01$). Koncentracije Mn su na K3 i K2 bile slične u maju, julu i avgustu (Tabela 30). Tokom sezone je zabeležen trend povećanja količine Mn u korenu ove vrste na ispitivanim staništima. Koncentracije Mn u avgustu bile veće na K3 i K2 u odnosu na maj ($p<0.001$; $p<0.001$) i jul ($p<0.001$; $p<0.001$). Na K_{Bb}, koncentracije Mn su bile značajno veće u avgustu u odnosu na maj (Slika 44).

Sadržaj Mo u korenu *F. rubra* je na K_{Bb} bio manji samo u odnosu na K2 ($p<0.001$) (Tabela 30). Koncentracija Mo u korenu ove vrste je bila manja na K3 ($p<0.001$) u odnosu na K2 (Tabela 30). Tokom sezone, količina Mo u korenu *F. rubra* se nije značajno menjala na ispitivanim staništima (Slika 44).

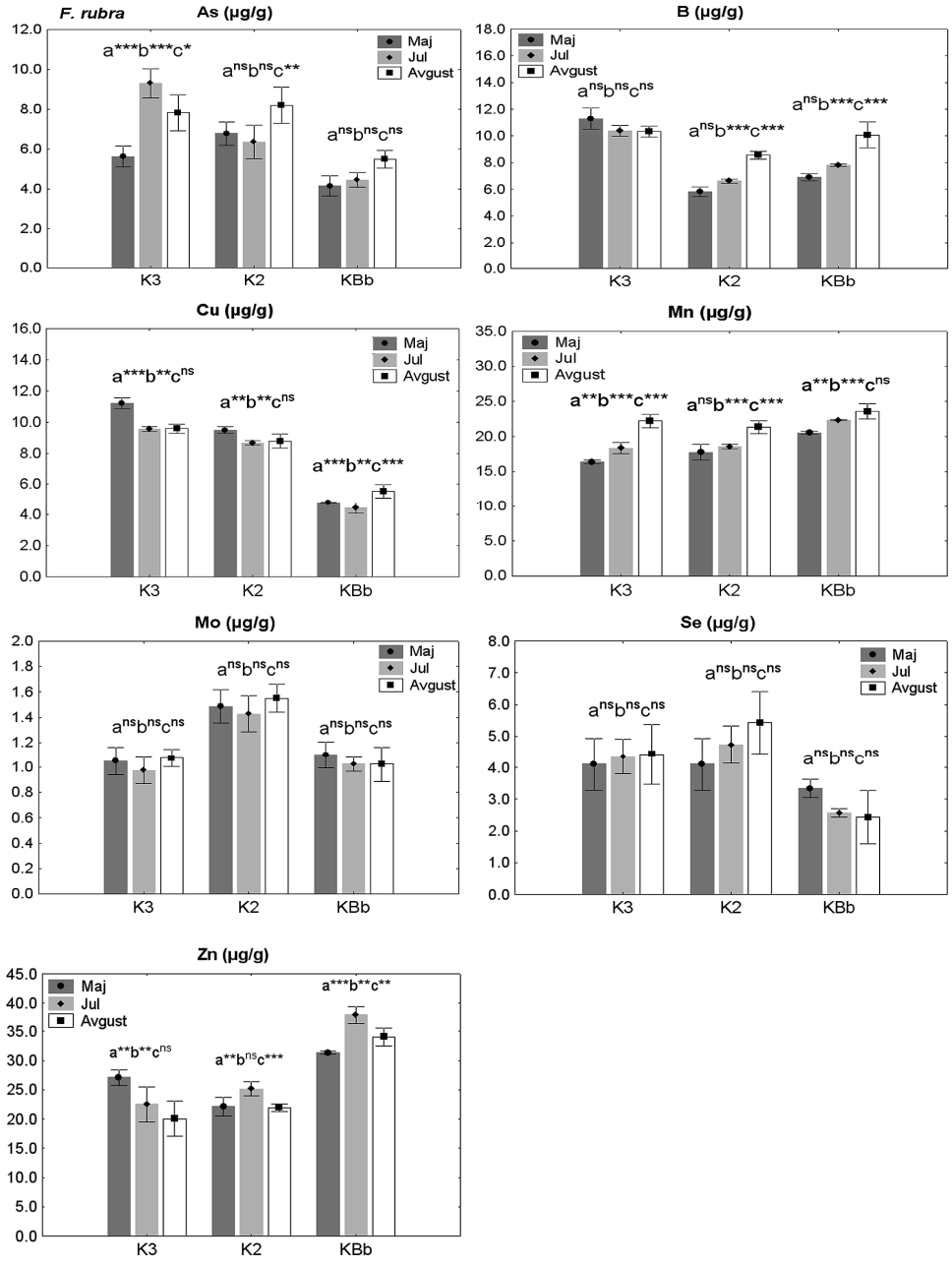
Sadržaj Se u korenu *F. rubra* je na K_{Bb} bio značajno manji u julu ($p<0.001$) i avgustu ($p<0.001$) samo u odnosu na K2 (Tabela 30). Sadržaj Se u korenu ove vrste se nije značajno razlikovao između K3 i K2. Takođe, nije bilo značajnih razlika u količini Se u korenu tokom sezone na svim ispitivanim staništima (Slika 44).

Sadržaj Zn u korenu *F. rubra* je na K_{Bb} bio značajno veći u odnosu na K3 i K2 ($p<0.001$). Količina Zn u korenu ove vrste je bila veća na K3 samo u maju u odnosu na K2 ($p<0.01$) (Tabela 30). Tokom sezone, na K3, vrednosti Zn u korenu *F. rubra* su se smanjivale, tako da su u maju bile veće u odnosu na jul ($p<0.01$) i avgust ($p<0.01$). Na K2 i K_{Bb}, koncentracije Zn su u julu bile veće u odnosu na maj ($p<0.01$; $p<0.001$) i avgust ($p<0.001$; $p<0.01$) (Slika 44).

Tabela 30. Sadržaj hemijskih elemenata u korenu *F. rubra* na kasetama (K3 i K2) deponije pepela različite starosti TENT-A u Obrenovcu i kontrolnom staništu (K_{Bb}).

Parametar		As (µg/g)	B (µg/g)	Cu (µg/g)	Mn (µg/g)	Mo (µg/g)	Se (µg/g)	Zn (µg/g)
Maj								
K3	M (SD) Min - Max	5.63 (0.523) b^{ns} 4.88 – 6.13	11.29 (0.789) a***b*** 10.39 – 12.14	11.21(0.361)a***b*** 10.76 – 11.52	16.41 (0.269) a^{ns} 16.05 – 16.67	1.05 (0.112) b^{ns} 0.88 – 1.13	3.10 (0.311) $a^{ns}b^{ns}$ 2.63 – 3.38	27.11 (1.378) a** 25.27 – 28.67
K2	M (SD) Min - Max	6.78 (0.597) $a^{ns}c^{***}$ 6.13 – 7.39	5.81 (0.360) 5.38 – 6.26	9.48 (0.222) c*** 9.25 – 9.76	17.80 (1.136) 16.16 – 18.89	1.49 (0.132) a***c*** 1.25 – 1.58	4.11 (0.827) 2.75 – 4.88	22.13 (1.617) 20.41 – 24.77
K_{Bb}	M (SD) Min - Max	4.16 (0.495) 3.51 – 4.64	6.91 (0.270) c** 6.51 – 7.26	4.78 (0.056) 4.76 – 4.88	20.54 (0.208) b***c*** 20.39 – 20.90	1.10 (0.105) 1.00 – 1.25	3.33 (0.286) c^{ns} 3.00 -3.63	31.32(0.262)b*c*** 30.91 – 31.62
Jul								
K3	M (SD) Min - Max	9.31 (0.730)a***b*** 8.63 – 10.51	10.38 (0.417) a***b*** 9.87 – 10.76	9.55 (0.143) a***b*** 9.37 – 9.75	18.36 (0.784) a^{ns} 17.25 – 19.27	0.98 (0.105) b^{ns} 0.88 – 1.13	4.35(0.456)$a^{ns}b^{ns}$ 3.51 – 4.88	22.54 (3.002) a^{ns} 17.51 – 25.25
K2	M (SD) Min - Max	6.35 (0.845) c** 5.00 – 7.14	6.63 (0.155) 6.50 – 6.88	8.66 (0.132) 8.51 – 8.76	18.58 (0.336) 18.13 – 18.90	1.43 (0.143) a***c*** 1.25 – 1.63	4.73 (0.590) c*** 3.75 – 5.26	25.18 (1.251) 23.22 – 26.43
K_{Bb}	M (SD) Min - Max	4.45 (0.361) 4.00 – 4.88	7.81 (0.072) c* 7.75 – 7.89	8.23 (0.184) c^{ns} 8.01 – 8.51	22.340 (0.097)b***c*** 22.20 – 22.42	1.03 (0.056) 1.00 – 1.13	2.56 (0.137) 2.50 – 2.75	37.87(1.521)b***c*** 36.26 – 40.30
Avgust								
K3	M (SD) Min - Max	7.83 (0.898) $a^{ns}b^{***}$ 6.26 – 8.50	10.33 (0.396) a***b^{ns} 9.77 – 10.88	9.58 (0.286) a** b*** 9.27 – 9.88	22.24 (0.949) $a^{ns}b^{ns}$ 20.91 – 23.39	1.08 (0.068) b^{ns} 1.00 – 1.13	4.43 (0.953) $a^{ns}b^{ns}$ 2.88 – 5.13	20.04 (2.988) a^{ns} 17.62 – 25.04
K2	M (SD) Min - Max	8.21 (0.909) c*** 7.76 – 9.13	8.56 (0.300) 8.13 – 8.88	8.78 (0.462) c*** 8.01 – 9.13	21.37 (0.920) 20.15 – 22.64	1.55 (0.112)a***c*** 1.38 – 1.63	5.43 (0.975) c*** 3.75 – 6.26	21.94 (0.627) 21.02 – 22.64
K_{Bb}	M (SD) Min - Max	5.50 (0.444) 4.75 – 5.88	10.08 (0.979) c*** 9.13 – 11.52	5.54 (0.425) 5.01 – 5.90	23.59 (1.079) c** 21.87 – 24.52	1.03 (0.137) 0.87 – 1.25	2.43 (0.843) 1.00 – 3.13	34.06(1.481)b***c*** 32.15 – 36.06

dvofaktorska ANOVA, n=5; M (SD); Min – minimalne vrednosti, Max - maksimalne vrednosti; (a) K3-K2; (b) K3-K_{Bb}; (c) K2-K_{Bb}; * $p<0.05$; ** $p<0.01$; *** $p<0.001$, ns = nema značajnih razlika.



Slika 44. Koncentracije hemijskih elemenata u korenu *F. rubra* na različitim staništima tokom sezone. Poređenja su sledeća: (a) Maj - Jul; (b) Maj - Avgust; (c) Jul – Avgust (dvofaktorska ANOVA, n=5; * $p<0.05$; ** $p<0.01$; *** $p<0.001$, ns = nema značajnih razlika).

D. glomerata

Na sadržaj As, B, Cu, Mo i Se u korenu *D. glomerata* značajno utiče stanište ($p<0.001$) i sezona ($p<0.001$, $p<0.05$), pri čemu je uticaj staništa veći. Na sadržaj Mn i Zn u korenu sezona ima značajno veći uticaj u odnosu na stanište ($p<0.01$). Na sadržaj Mo i Se u korenu značajno utiče stanište ($p<0.001$) i sezona ($p<0.05$), pri čemu stanište ima veći uticaj od sezone (Tabela 31).

Tabela 31. Uticaj lokaliteta i sezone na varijabilnost sadržaja hemijskih elemenata u korenu *D. glomerata*.

Parametar	**Stanište**		**Sezona**		**Stanište x Sezona**	
	F	**p**	**F**	**p**	**F**	**p**
As	**406.541**	***	33.901	***	22.834	***
B	**882.760**	***	73.979	***	19.815	***
Cu	**607.959**	***	73.979	***	19.815	***
Mn	0.001	ns	**7.733**	**	12.317	***
Mo	**43.124**	***	3.459	*	1.389	ns
Se	**58.949**	***	4.1728	*	3.9286	*
Zn	0.056	ns	**8.423**	**	17.908	***

dvofaktorska ANOVA

Sadržaj As u korenu *D. glomerata* na K3 je bio značajno veći u odnosu na kontrolno stanište u maju ($p<0.001$), julu ($p<0.001$) i avgustu ($p<0.001$) (Tabela 32). Tokom sezone, sadržaj As se smanjivao na K3, te su u maju bile veće u odnosu na jul ($p<0.001$) i avgust ($p<0.001$). Na K_{Ko}, nisu zabeležene značajne razlike u količini As u korenu tokom sezone (Slika 45).

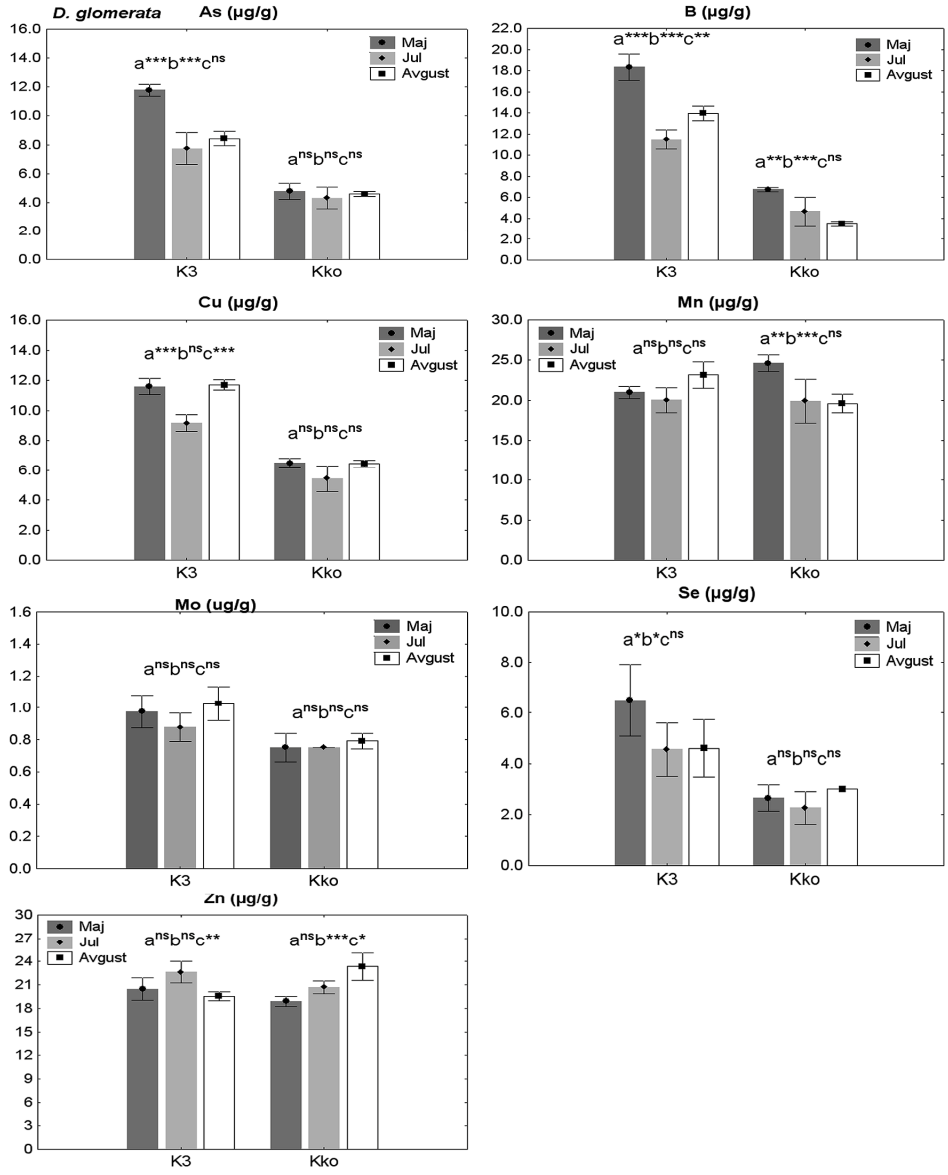
Sadržaj B u korenu *D. glomerata* na K3 je bio značajno veći u odnosu na kontrolno stanište u maju ($p<0.001$), julu ($p<0.001$) i avgustu ($p<0.001$) (Tabela 32). Tokom sezone, na K3 i K_{Ko}, količina B se vremenom smanjivala tako da je u maju vrednost B u korenu bila veća u odnosu na jul ($p<0.001$; $p<0.01$) i avgust ($p<0.001$; $p<0.001$) (Slika 45).

Sadržaj Cu u korenu *D. glomerata* na K3 je značajno veći u odnosu na kontrolno stanište u maju ($p<0.001$), julu ($p<0.001$) i avgustu ($p<0.001$) (Tabela 32). Tokom sezone, na K3 sadržaj Cu u korenu ove vrste je bio manji u julu u odnosu na maj ($p<0.001$) i avgust ($p<0.001$), dok na K_{Ko} nisu zabeležene značajne razlike (Slika 45).

Tabela 32. Sadržaj hemijskih elemenata u korenu *D. glomerata* na kaseti (K3) deponije pepela TENT-A u Obrenovcu i kontrolnom staništu (K_{Ko}).

Parametar		As (µg/g)	B (µg/g)	Cu (µg/g)	Mn (µg/g)	Mo (µg/g)	Se (µg/g)	Zn (µg/g)
Maj								
K3	M (SD)	11.79 (0.407) a***	18.34 (1.328) a***	11.59 (0.549) a***	21.00 (0.772)	0.98 (0.104) a**	6.51 (1.423) a***	20.44 (1.426) a^{ns}
	Min - Max	11.14 – 12.27	17.40 – 19.65	10.87 – 12.39	20.15 – 21.66	0.88 – 1.12	4.01 – 7.39	18.77 – 22.52
K_{Ko}	M (SD)	4.78 (0.548)	6.75 (0.215)	6.48 (0.323)	24.62 (1.039) a*	0.75 (0.088)	2.65 0.511)	18.91 (0.646)
	Min - Max	4.00 – 5.50	6.38 – 6.88	6.13 – 6.76	23.42 – 26.15	0.62 – 0.87	2.25 – 3.50	18.26 – 19.57
Jul								
K3	M (SD)	7.73 (1.101) a***	11.49 (0.883) a***	9.16 (0.570) a***	20.02 (1.574) a^{ns}	0.88 (0.089) a^{ns}	4.55 (1.049) a**	22.63 (1.392) a^{ns}
	Min - Max	6.51 – 9.51	10.13 – 12.51	8.26 – 9.76	17.89 – 22.27	0.75 – 1.00	2.88 – 5.76	21.02 – 24.15
K_{Ko}	M (SD)	4.23 (0.758)	4.68 (1.355)	5.42 (0.853)	19.92 (2.734)	0.75 (0.000)	2.26 (1.003)	20.70 (0.813)
	Min - Max	3.25 – 5.01	2.88 – 6.01	4.13 – 6.25	16.02 – 23.56	0.75 – 0.75	1.25 – 2.75	19.53 – 21.54
Avgust								
K3	M (SD)	8.01 (0.481) a***	13.97 (0.688) a***	11.69 (0.337) a***	23.16 (1.661) a*	1.03 (0.104) a**	4.60 (1.137) a^{ns}	19.57 (0.576) a***
	Min - Max	7.88 – 9.01	12.89 – 14.76	11.26 – 12.14	20.79 – 25.16	0.88 – 1.13	2.88 – 5.76	18.77 – 20.39
K_{Ko}	M (SD)	4.32 (0.166)	3.52 (0.208)	6.44 (0.246)	19.61 (1.133)	0.79 (0.048)	3.00 (0.001)	23.35 (1.765)
	Min - Max	4.32 – 4.76	3.26 – 3.79	6.14 – 6.74	18.54 – 20.99	0.74 – 0.86	3.00 – 3.01	21.77 – 26.35

dvofaktorska ANOVA, n=5; M (SD); Min – minimalne vrednosti, Max - maksimalne vrednosti; (a) K3-K_{Ko}; * $p<0.05$; ** $p<0.01$; *** $p<0.001$, ns = nema značajnih razlika



Slika 45. Koncentracije hemijskih elemenata u korenu *D. glomerata* na različitim staništima tokom sezone. Poređenja su sledeća: (a) Maj - Jul; (b) Maj - Avgust; (c) Jul – Avgust (dvofaktorska ANOVA, n=5; * $p<0.05$; ** $p<0.01$; *** $p<0.001$, ns = nema značajnih razlika).

Sadržaj Mn u korenu *D. glomerata* je na različitim staništima varirao. Tako je koncentracija Mn na K_{Ko}, u maju bila veća ($p<0.05$), a u avgustu manja ($p<0.05$) u odnosu na K3 (Tabela 32). Tokom sezone, na K3 se količina Mn u korenu nije značajno menjala, dok je na K_{Ko} bila veća u maju u odnosu na jul ($p<0.01$) i avgust ($p<0.001$), (Slika 45).

Sadržaj Mo u korenu *D. glomerata* je bio značajno manji na K_{Ko} u odnosu na K3 u maju ($p<0.01$) i avgustu ($p<0.01$) (Tabela 32).

Sadržaj Se u korenu *D. glomerata* je bio značajno manji na K_{Ko} u maju ($p<0.001$), i julu ($p<0.01$) u odnosu na K3 (Tabela 32). Tokom sezone, količina Se na K3 je u maju bila veća u odnosu na jul ($p<0.05$) i avgust ($p<0.05$), dok se na K_{Ko} nije značajno menjala (Slika 45).

Sadržaj Zn u korenu *D. glomerata* je na K_{Ko} samo u avgustu bio veći u odnosu na K3 ($p<0.001$) (Tabela 32). Tokom sezone, na K3, vrednosti Zn su u julu bile veće samo u odnosu na avgust ($p<0.01$). Na $K_{Ko,}$ vrednost Zn je u avgustu bila veća u odnosu na maj ($p<0.001$) i jul ($p<0.01$) (Slika 45).

O. biennis

Na sadržaj As, B, Cu, Mn, Mo i Zn u korenu *O. biennis* značajno utiče stanište ($p<0.01$; $p<0.001$) i sezona ($p<0.05$; $p<0.01$; $p<0.001$), pri čemu stanište ima veći uticaj od sezone. Na sadržaj Se u korenu stanište ima značajno veći uticaj u odnosu na sezonu ($p<0.01$) (Tabela 33).

Tabela 33. Uticaj staništa i sezone na varijabilnost sadržaja hemijskih elemenata u krorenu *O. biennis*.

Parametar	Stanište		Sezona		Stanište x Sezona	
	F	p	F	p	F	p
As	**9.547**	***	4.037	*	4.669	**
B	**1122.31**	**	336.17	**	215.13	**
Cu	**26.137**	***	4.845	**	3.821	**
Mn	**321.314**	***	190.465	***	36.184	***
Mo	**117.077**	***	15.821	***	5.466	**
Se	**5.125**	**	0.2570	ns	7.9328	***
Zn	**473.99**	***	7.53	**	10.27	***

dvofaktorska ANOVA

Sadržaj As u korenu *O. biennis* je na K_{Bk} bio samo u julu veći u odnosu na K2 ($p<0.01$) (Tabela 34). Nisu utvrđene razlike u sadržaju As u korenu ove vrste između K3 i K2. Tokom sezone nisu konstatovane značajne razlike u sadržaju As u korenu *O. biennis* na različitim staništima (Slika 46).

Sadržaj B u korenu *O. biennis* na K_{Bk} bio značajno manji u maju ($p<0.001$; $p<0.001$), julu ($p<0.001$; $p<0.001$) i avgustu ($p<0.001$; $p<0.001$) u odnosu na K2 i K3. Sadržaj B u korenu ove vrste je na K3 bio veći u odnosu na K2 u maju ($p<0.001$), julu ($p<0.001$) i avgustu ($p<0.001$) (Tabela 34). Tokom sezone, količina B u korenu na K3 je u avgustu bila veća u odnosu jul ($p<0.001$), na K2 je u avgustu bila veća u odnosu na maj ($p<0.001$) i jul ($p<0.001$), a na K_{Bk} u avgustu veća u odnosu na maj ($p<0.05$) (Slika 46).

Sadržaj Cu u korenu *O. biennis* je na K_{Bk} samo u julu bio veći u odnosu na K3 i K2 ($p<0.001$; $p<0.001$) (Tabela 34). Količina Cu u korenu ove vrste je na K3 bila slična kao na K2 u maju, julu i avgustu (Slika 46).

Sadržaj Mn u korenu *O. biennis* je na K_{Bk} bio veći u maju ($p<0.001$; $p<0.001$), julu ($p<0.001$; $p<0.001$) i avgustu ($p<0.001$; $p<0.001$) u odnosu na K3 i K2. Sadržaj Mn u korenu je na K3 i K2 varirao, tako je količina Mn u korenu na K2 bila veća u maju ($p<0.01$), manja u julu ($p<0.001$), a u avgustu slična sa K3 (Tabela 34). Tokom sezone, koncentracija Mn u korenu je na K3 bila veća u maju u odnosu na avgust ($p<0.001$), a na K2 i K_{Bk}, u maju veća u odnosu na jul ($p<0.001$; $p<0.001$) i avgust ($p<0.001$; $p<0.001$) (Slika 46).

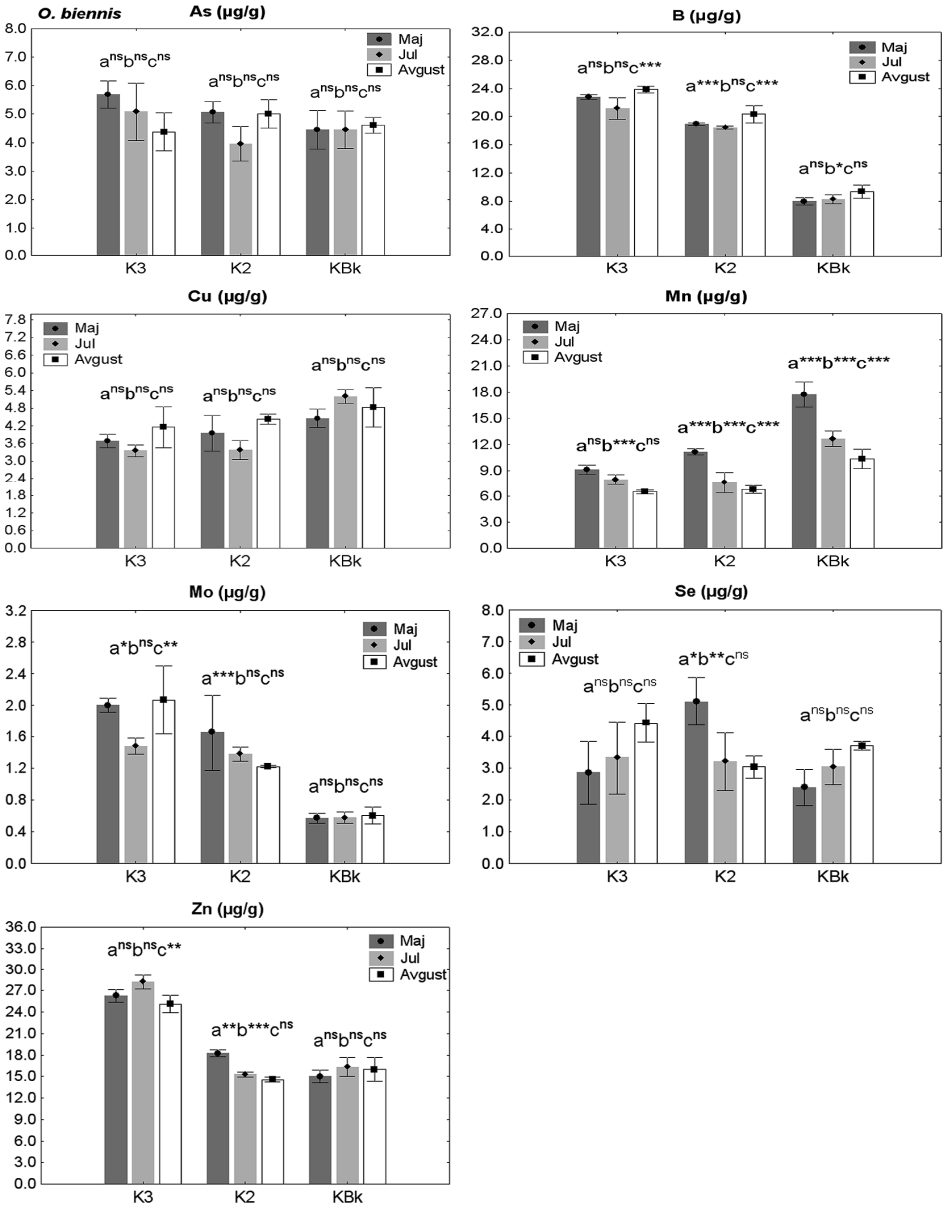
Sadržaj Mo u korenu *O. biennis* je bio značajno manji na K_{Bk} u maju ($p<0.001$; $p<0.001$) i avgustu ($p<0.001$; $p<0.01$) u odnosu na K3 i K2, a u julu manji samo u odnosu na K3 ($p<0.001$). Sadržaj Mo je na K3 bio značajno veći u odnosu na K2 i julu ($p<0.01$) i avgustu ($p<0.001$) (Tabela 34). Tokom sezone, sadržaj Mo je na K3 u julu bio manji u odnosu na maj ($p<0.05$) i avgust ($p<0.01$), a na K2 je u julu bio manji u odnosu na maj ($p<0.001$). Na K_{Bk} nije bilo razlika u sadržaju Mo tokom sezone (Slika 46).

Sadržaj Se u korenu *O. biennis* je samo u maju na K2 bio veći u odnosu na K_{Bk} ($p<0.001$) (Tabela 34). Takođe, samo u maju je izmerena značajno veća količina Se u korenu na K2 u odnosu na K3 ($p<0.001$). Tokom sezone, samo na K2 je sadržaj Se u korenu bio značajno veći u maju u odnosu na jul ($p<0.05$) i avgust ($p<0.001$) (Slika 46).

Tabela 34. Sadržaj hemijskih elemenata u korenu *O. biennis* na kasetama različite starosti (K3 i K2) deponije pepela TENT-A u Obrenovcu i kontrolnom staništu (K_{Bk}).

Parametar		As (µg/g)	B (µg/g)	Cu (µg/g)	Mn (µg/g)	Mo (µg/g)	Se (µg/g)	Zn (µg/g)
Maj								
K3	M (SD) Min - Max	5.68 (0.481) $a^{ns}b^{ns}$ 5.13 – 6.26	22.77 (0.323) a***b*** 22.39 – 23.28	3.68 (0.228) a^{ns} 3.38 – 4.00	9.11 (0.529) 8.63 – 10.01	2.00 (0.088) b*** 1.88 – 2.13	2.85 (0.982) b^{ns} 1.38 – 4.13	26.27(0.850)a***b*** 25.17 – 26.50
K2	M (SD) Min - Max	5.08 (0.380) c^{ns} 4.63 – 5.50	18.92 (0.172) c*** 18.75 – 19.15	3.95 (0.606) 3.12 – 4.76	11.19 (0.384) a** 10.76 – 11.64	1.65 (0.480) a^{ns}c*** 1.12 – 2.00	5.11(0.760)a***c*** 4.25 – 6.01	18.23 (0.480) c** 17.75 – 18.91
K_{Bk}	M (SD) Min - Max	4.45 (0.679) 3.38 – 5.01	7.96 (0.552) 7.37 – 8.40	4.46 (0.315) $b^{ns}c^{ns}$ 4.01 – 4.89	17.75 (1.428) b***c*** 16.66 – 20.17	0.57 (0.064) 0.50 – 0.63	2.38 (0.569) 1.38 – 2.75	15.01 (0.892) 14.28 – 16.49
Jul								
K3	M (SD) Min - Max	5.08 (1.003)$a^{ns}b^{ns}$ 4.01 – 6.38	21.14 (1.518) a***b*** 19.89 – 23.67	3.35 (0.208) a^{ns} 3.13 – 3.63	7.98 (0.582) a*** 7.26 – 8.88	1.48 (0.105) a**b*** 1.38 – 1.50	3.33(1.146)$a^{ns}b^{ns}c^{ns}$ 1.50 – 4.63	28.22(0.964)a***b*** 27.53 – 29.91
K2	M (SD) Min - Max	3.95 (0.610) 2.88 – 4.38	18.41 (0.209) c*** 18.13 – 18.65	3.38 (0.320) 3.00 – 3.88	7.61 (1.213) 6.38 – 9.38	1.38 (0.088) c^{ns} 1.25 – 1.50	3.20 (0.909) 1.63 – 3.89	15.28 (0.321) 14.76 – 15.62
K_{Bk}	M (SD) Min - Max	4.45 (0.660) c*** 3.76 – 5.38	8.26 (0.671) 7.14 – 8.88	5.20 (0.243) b***c*** 5.00 – 5.63	12.69 (0.870) b***c*** 11.27 – 13.13	0.58 (0.068) 0.50 – 0.62	3.03 (0.562) 2.50 – 3.75	16.34 (1.275) c^{ns} 14.27 – 17.76
Avgust								
K3	M (SD) Min - Max	4.38(0.673) $a^{ns}b^{ns}c^{ns}$ 3.38 – 5.25	23.84 (0.455) a***b*** 23.14 – 24.39	4.15(0.695) $a^{ns}b^{ns}c^{ns}$ 3.50 – 5.26	6.50 (0.235) a^{ns} 6.13 – 6.76	2.07 (0.434) a***b*** 1.62 – 2.63	3.48 (0.842) $a^{ns}b^{ns}$ 2.13 – 3.88	25.10(1.199)a***b*** 23.78 – 26.90
K2	M (SD) Min - Max	5.01 (0.501) 4.38 – 5.63	20.35 (1.225) c*** 19.02 – 21.65	4.43 (0.167) 4.50 – 4.63	6.78 (0.479) 6.26 – 7.38	1.22 (0.014) c** 1.20 – 1.23	3.03 (0.346) 2.63 – 3.50	14.59 (0.315) 14.14 – 14.89
K_{Bk}	M (SD) Min - Max	4.61 (0.277) 4.25 – 4.88	9.35 (0.944) 8.51 – 10.81	4.83 (0.669) 4.38 – 5.61	10.37(1.115) b***c*** 9.26 – 12.16	0.60 (0.105) 0.50 – 0.75	3.69 (0.140) c^{ns} 3.50 – 3.88	15.97 (1.673) c^{ns} 14.02 – 18.02

dvofaktorska ANOVA, n=5; M (SD); Min – minimalne vrednosti, Max - maksimalne vrednosti; (a) K3-K2; (b) K3-K_{Bk}; (c) K2-K_{Bk} * $p<0.05$; ** $p<0.01$; *** $p<0.001$, ns = nema značajnih razlika.



Slika 46. Koncentracije hemijskih elemenata u korenu *O. biennis* na različitim staništima tokom sezone. Poređenja su sledeća: (a) Maj - Jul; (b) Maj - Avgust; (c) Jul – Avgust (dvofaktorska ANOVA, n=5; * $p<0.05$; ** $p<0.01$; *** $p<0.001$, ns = nema značajnih razlika).

Sadržaj Zn u korenu *O. biennis* je bio veći na K_{Bk} bio značajno manji u maju u odnosu na K3 i K2 ($p<0.001$; $p<0.01$), dok je u julu ($p<0.001$) i avgustu ($p<0.001$) bio manji samo u odnosu na K3. Sadržaj Zn je na K3 bio veći u maju ($p<0.001$), julu ($p<0.001$) i avgustu ($p<0.001$) u odnosu na K2 (Tabela 34). Tokom sezone, sadržaj Zn je na K3 u julu bio veći u odnosu na avgust ($p<0.01$), a na K2 je u maju bio veći u

odnosu na jul ($p<0.01$) i avgust ($p<0.001$). Na K_{Bk}, nije bilo značajnih razlika u sadržaju Zn u korenu tokom sezone (Slika 46).

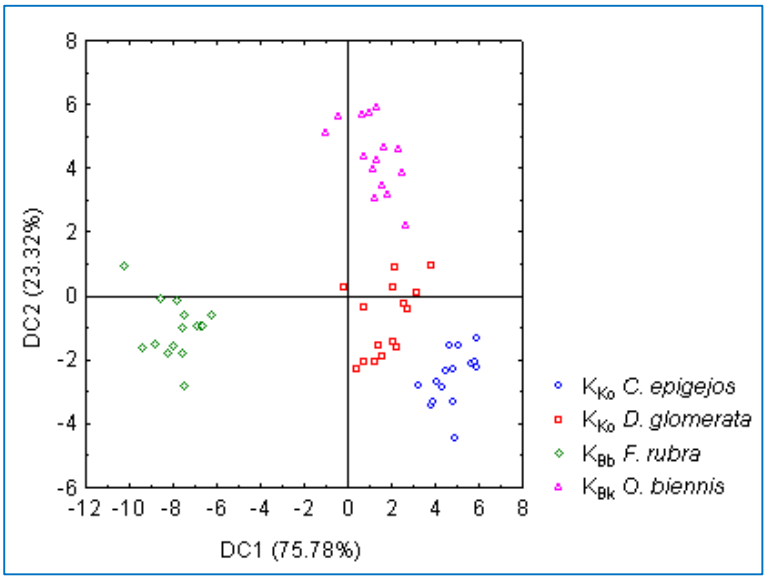
Sadržaj As u korenu ***C. epigejos*** je na kasetama (K3 i K2) deponije pepela veći, Cu i Mn manji u odnosu na kontrolno stanište, a razlika nema u sadržaju Mo i Se između staništa. Sadržaj Zn u korenu ove vrste na K3 i K2 je varirao u odnosu na K_{Ko}. U korenu ***F. rubra*** sadržaj As i Cu je na K3 i K2 veći, a Mn i Zn manji u odnosu na kontrolno stanište. Kod ove vrste, količina B u korenu je značajno veća na K3, a sadržaj Mo i Se na K2 veći nego na K_{Bb}. U korenu ***D. glomerata*** sadržaj As, B, Cu, Mo i Se je veći na K3 u odnosu na K_{Ko}. Sadržaj Mn i Zn na K3 je varirala u odnosu na K_{Ko}. Sadržaj B, Mo i Zn u korenu ***O. biennis*** je veći, a Cu i Mn manji na K3 i K2 u odnosu na K_{Bk}. Međutim, količina As u korenu ove vrste je manja, a Se veća na K2 u odnosu na K_{Bk}.

Na Slikama 47 i 48 su prikazani rezultati **kanonijske diskriminacione analize sadržaja hemijskih elemenata u korenu ispitivanih biljaka na kontrolnim staništima**. Kumulativni procenat varijanse za prvu diskriminacionu funkciju (DC1) iznosi 75.78%, a za drugu diskriminacionu funkciju (DC2) 23.32%. Prema DC1 zapaža se jasno izdvajanje vrste *F. rubra* u odnosu na ostale ispitivane vrste i tome najviše pridonosi Zn. Prema DC2, razdvajanje vrste *O. biennis* od ostalih vrsta je jasno izraženo i varijabla koja najviše doprinosi razlikama je B.

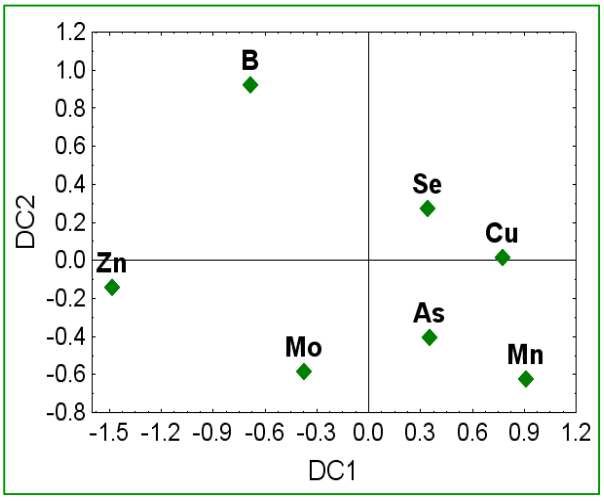
Na Slikama 49 i 50 su prikazani rezultati **kanonijske diskriminacione analize sadržaja hemijskih elemenata u korenu ispitivanih biljaka na K3**. Prva diskriminaciona funkcija (DC1) objašnjava 82.72% ukupne varijanse ispitivanih parametara. Uočava se jasno razdvajanje vrste *O. biennis* od ostalih vrsta, a razlikama najviše doprinosi B. Takođe se zapaža preklapanje između *F. rubra* i *D. glomerata.* Druga diskriminaciona funkcija objašnjava 16.84% ukupne razlike i na osnovu nje se zapaža veće razdvajanje vrste *C. epigejos* od ostalih biljaka. Prema DC2, razlikama između vrsta najviše doprinose Mn i Zn.

Na Slikama 51 i 52 su prikazani rezultati **kanonijske diskriminacione analize sadržaja hemijskih elemenata u korenu ispitivanih biljaka na K2**. Kanonijska diskriminaciona analiza hemijskih elemenata u korenu pokazuje jasno izdvajanje vrsta na K2. Prva diskriminaciona funkcija (DC1) objašnjava 95.87% razlika, pri čemu se jasno odvaja vrsta *F. rubra* od *C. epigejos* i *O. biennis* i tim razlikama najviše doprinose Cu i Mn. Druga diskriminaciona funkcija (DC2) objašnjava 4.13% ukupne razlike

ispitivanih parametara. Prema DC2, *C. epigejos* se odvaja od *O. biennis*, a razdvajanju najviše doprinose Mn i B.

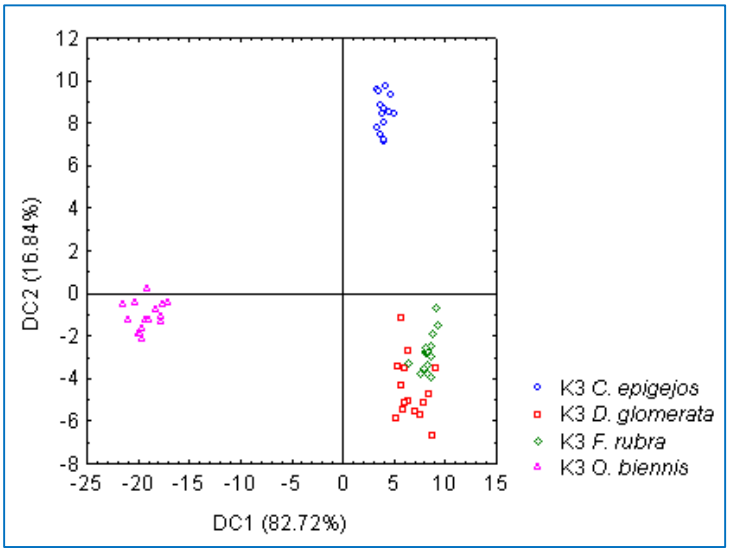


Slika 47. Kanonijska diskriminaciona analiza – grupisanje ispitivanih biljaka na osnovu hemijskih elemenata u korenu na kontrolnim staništima.

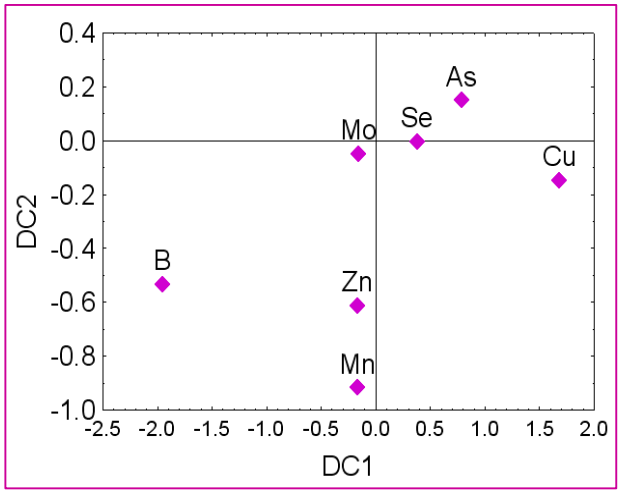


	Diskriminaciona funkcija 1 DC1	Diskriminaciona funkcija 2 DC2
As	0.35342	-0.407320
B	-0.68250	**0.920305**
Cu	0.77548	0.011967
Mn	0.91016	-0.625803
Mo	-0.37391	-0.586069
Se	0.34322	0.267977
Zn	**-1.48375**	-0.146397
Eigen – vrednost	23.74287	7.308922
Kumulativni procenat	0.75778	0.991051

Slika 48. Standardizovani koeficijenti za kanonijske varijable; doprinos hemijskih elemenata varijabilnosti u korenu između ispitivanih biljaka na kontrolnim staništima.

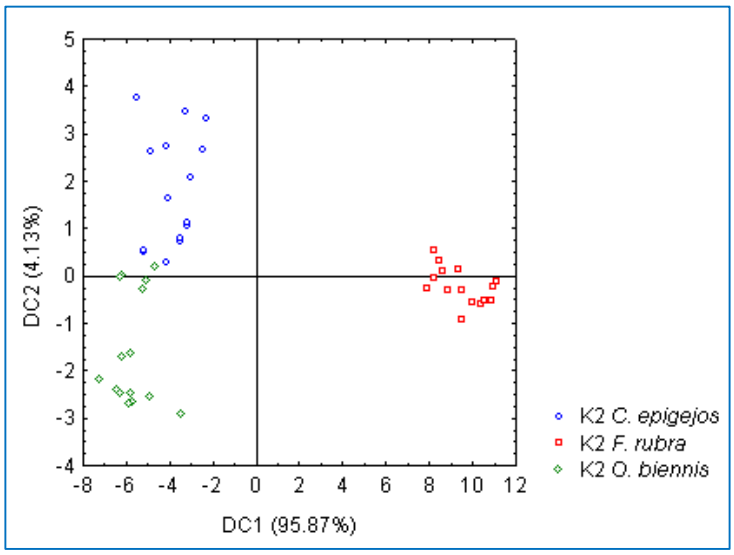


Slika 49. Kanonijska diskriminaciona analiza – grupisanje ispitivanih biljaka na osnovu hemijskih elemenata u korenu na K3.

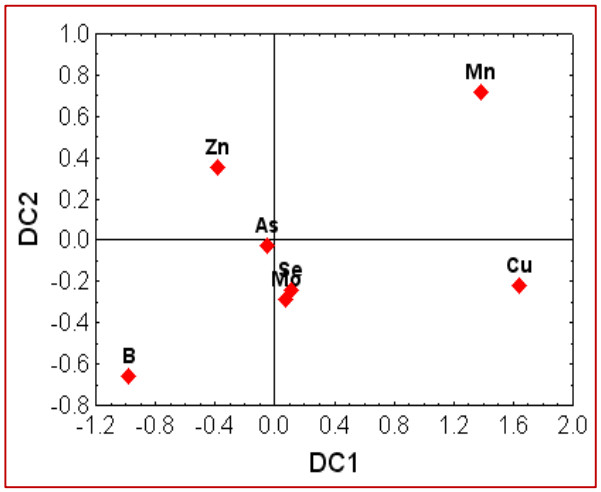


	Diskriminaciona funkcija 1 DC1	Diskriminaciona funkcija 2 DC2
As	0.7865	0.14872
B	**-1.9479**	-0.53541
Cu	1.6821	-0.14969
Mn	-0.1688	**-0.91827**
Mo	-0.1574	-0.05096
Se	0.3780	-0.00478
Zn	-0.1704	**-0.61550**
Eigen – vrednost	133.4429	27.16484
Kumulativni procenat	0.8272	0.99561

Slika 50. Standardizovani koeficijenti za kanonijske varijable; doprinos hemijskih elemenata varijabilnosti u korenu između ispitivanih biljaka na K3.



Slika 51. Kanonijska diskriminaciona analiza – grupisanje ispitivanih biljaka na osnovu hemijskih elemenata u korenu na K2.



	Diskriminaciona funkcija 1 DC1	Diskriminaciona funkcija 2 DC2
As	-0.04555	-0.028986
B	-0.97237	**-0.662235**
Cu	**1.64326**	-0.221378
Mn	**1.38387**	**0.715460**
Mo	0.07851	-0.293514
Se	0.11248	-0.246471
Zn	-0.37791	0.349083
Eigen – vrednost	49.00554	2.111588
Kumulativni procenat	0.95869	1.000000

Slika 52. Standardizovani koeficijenti za kanonijske varijable; doprinos hemijskih elemenata varijabilnosti u korenu između ispitivanih biljaka na K2.

5.4.2. Sezonska dinamika sadržaja hemijskih elemenata u listovima ispitivanih biljaka

C. epigejos

Na sadržaj As, B, Cu, Mn, Mo, Se i Zn u listovima *C. epigeios* značajno utiče stanište ($p<0.001$) i sezona ($p<0.01$; $p<0.001$). Kod As, B, Mo, Se i Zn stanište ima veći uticaj od sezone, a kod Cu i Mn sezona ima veći uticaj od staništa (Tabela 35).

Tabela 35. Uticaj staništa i sezone na varijabilnost sadržaja hemijskih elemenata u listovima *C. epigejos*.

Parametar	Stanište		Sezona		Stanište x Sezona	
	F	p	F	p	F	p
As	**84.242**	***	18.054	***	38.289	***
B	**7261.37**	***	126.46	***	29.42	***
Cu	11.096	***	**15.876**	***	29.426	***
Mn	211.521	***	**347.514**	***	55.911	***
Mo	**307.569**	***	20.682	***	40.317	***
Se	**146.166**	***	6.888	**	11.308	***
Zn	**218.10**	***	49.45	***	28.45	***

dvofaktorska ANOVA

Sadržaj As u listovima *C. epigeios* je na K3 i K2 bio veći u odnosu na K_{Ko} u maju ($p<0.05$; $p<0.001$) i avgustu ($p<0.001$; $p<0.001$), dok je u julu samo na K3 bio veći u odnosu na K_{Ko} ($p<0.001$) (Tabela 36). Količina As u listovima je na K2 u maju bila veća ($p<0.001$), u julu manja ($p<0.001$), a u avgustu slična istoj na K3. Tokom sezone, sadržaj As u listovima *C. epigeios* na K3 u maju bio manji u odnosu na jul ($p<0.001$) i avgust ($p<0.001$), dok je na K2 količina As u julu bila manja u odnosu na maj ($p<0.001$) i avgust ($p<0.001$). Na K_{Ko}, sadržaj As u listovima se nije značajno menjao tokom sezone (Slika 53).

Sadržaj B u listovima *C. epigeios* na K3 i K2 je bio veći u odnosu na K_{Ko} u maju ($p<0.001$; $p<0.001$), julu ($p<0.001$; $p<0.001$) i avgustu ($p<0.001$; $p<0.001$). Značajno veća količina B u listovima *C. epigeios* je bila zabeležena na K3 u odnosu na K2 u maju ($p<0.001$), julu ($p<0.001$) i avgustu ($p<0.001$) (Tabela 36). Tokom sezone, na K3, K2 i K_{Ko} količina B u listovima je u avgustu bila veća u odnosu na maj ($p<0.001$; $p<0.001$), jul ($p<0.001$; $p<0.001$) i avgust ($p<0.01$; $p<0.01$) (Slika 53).

Sadržaj Cu u listovima *C. epigeios* na K3 i K2 je bio manji u maju ($p<0.001$; $p<0.001$) i avgustu ($p<0.001$; $p<0.001$), a veći u julu ($p<0.001$; $p<0.05$) u odnosu na K_{Ko}. Količina Cu u listovima je na K3 samo u julu bila veća u odnosu na K2 ($p<0.001$) (Tabela 36). Tokom sezone, sadržaj Cu u listovima *C. epigeios* je na K3 bio manji u julu u odnosu na maj ($p<0.001$) i avgust ($p<0.001$). Na K2 i K_{Ko}, vrednosti Cu u listovima su u avgustu bile veće u odnosu na maj ($p<0.01$; $p<0.001$) i jul ($p<0.001$; $p<0.01$) (Slika 53).

Sadržaj Mn u listovima *C. epigeios* je na K3 i K2 bio manji u odnosu na K_{Ko} u maju ($p<0.001$; $p<0.001$) i avgustu ($p<0.001$; $p<0.001$), dok je u julu samo na K2 bio manji u odnosu na K_{Ko} ($p<0.001$). Značajno veća količina Mn u listovima je samo u julu bila veća na K3 u odnosu na K2 ($p<0.001$) (Tabela 36). Tokom sezone, sadržaj Mn u listovima se povećavao, tako da je na K3, u maju bio manji u odnosu na jul ($p<0.001$) i avgust ($p<0.001$). Na K2 i K_{Ko}, količina Mn u listovima je bila veća u avgustu u odnosu na maj ($p<0.001$; $p<0.001$) i jul ($p<0.001$; $p<0.001$) (Slika 53).

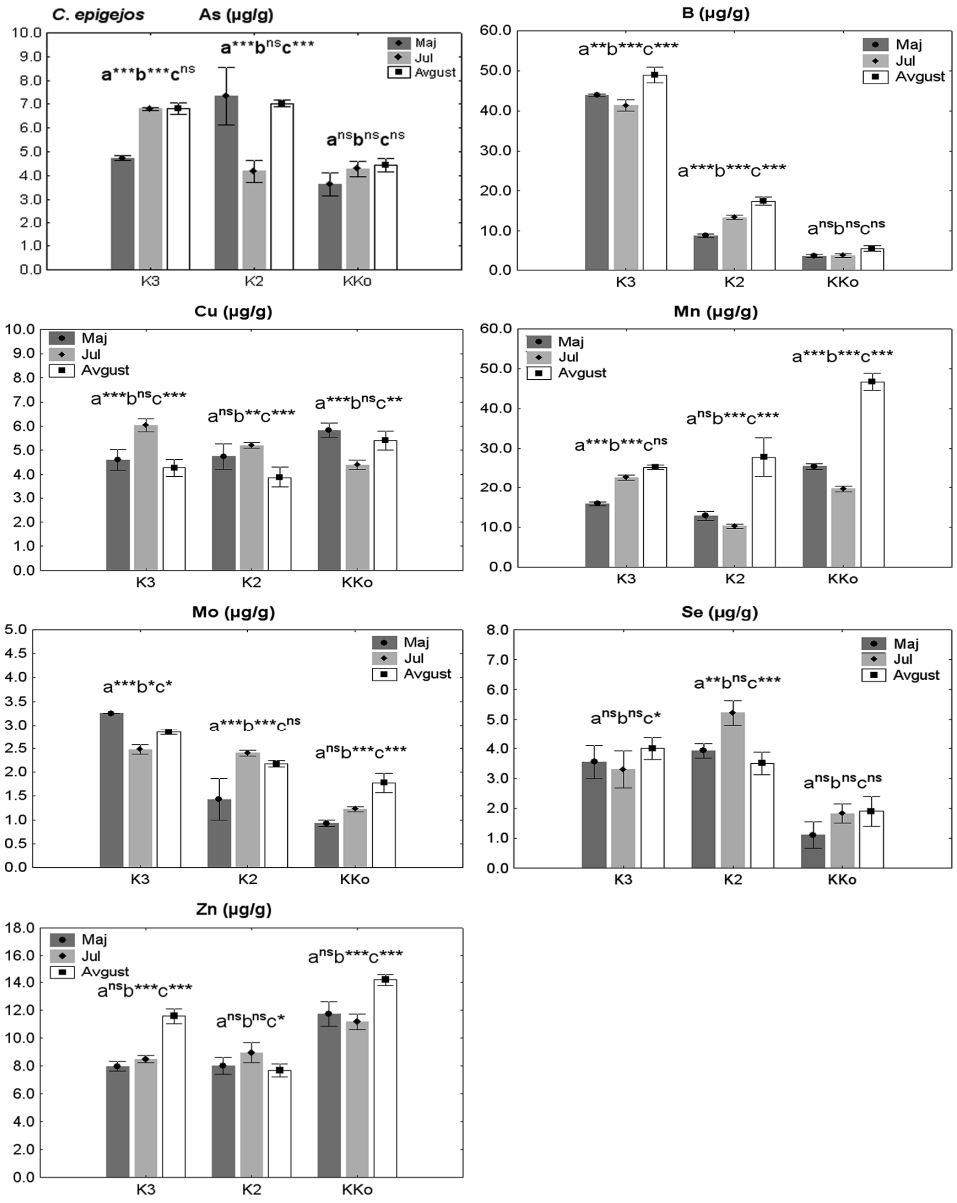
Sadržaj Mo u listovima *C. epigeios* je na kasetama deponije pepela K3 i K2 bio veći u odnosu na K_{Ko} u maju ($p<0.001$; $p<0.01$), julu ($p<0.001$; $p<0.001$) i avgustu ($p<0.001$; $p<0.05$). Značajno veća količina Mo u listovima je izmerena na K3 u maju ($p<0.001$) i avgustu ($p<0.001$) u odnosu na K2 (Tabela 36). Tokom sezone, na K3 sadržaj Mo u listovima je bio veći u maju u odnosu na jul ($p<0.001$) i avgust ($p<0.05$). Na K2 količina Mo u listovima je bila u maju manja u odnosu na jul ($p<0.001$) i avgust ($p<0.001$), dok je na K_{Ko}, u avgustu bila veća u odnosu na maj ($p<0.001$) i jul ($p<0.001$) (Slika 53).

Sadržaj Se u listovima *C. epigeios* je na K3 i K2 bio veći u odnosu na K_{Ko} u maju ($p<0.001$; $p<0.001$), julu ($p<0.001$; $p<0.001$) i avgustu ($p<0.001$; $p<0.001$). Količina Se u listovima je samo u julu na K3 bila manja u odnosu na K2 ($p<0.001$) (Tabela 36). Tokom sezone, sadržaj Se u listovima *C. epigeios* je na K3 bio značajno veći u avgustu u odnosu na jul ($p<0.05$), dok je na K2 u julu bio veći u odnosu na maj ($p<0.01$) i avgust ($p<0.001$). Na K_{Ko} nisu bile zabeležene značajne razlike u količini Zn u listovima tokom sezone (Slika 53).

Tabela 36. Sadržaj hemijskih elemenata u listovima *C. epigejos* na kasetama različite starosti (K3 i K2) deponije pepela TENT-A u Obrenovcu i kontrolnom staništu (K_{Ko}).

Parametar		As (µg/g)	B (µg/g)	Cu (µg/g)	Mn (µg/g)	Mo (µg/g)	Se (µg/g)	Zn (µg/g)
Maj								
K3	M (SD) Min - Max	4.73 (0.105) b* 4.62 – 4.88	43.90 (0.324) a*** b*** 43.50 – 44.38	4.60 (0.429) a^{ns} 4.25 – 5.13	15.90 (0.473) a^{ns} 15.37 – 16.62	3.25(0.000) a***b*** 3.25 – 3.24	3.55 (0.549) $a^{ns}b$*** 2.75 – 4.25	8.0 (0.327) a^{ns} 7.75 – 8.38
K2	M (SD) Min – Max	7.32(1.211) a***c*** 6.25 – 8.88	8.82 (0.472) c*** 8.13 – 9.37	4.75 (0.527) 4.37 – 5.62	12.87 (1.081) 11.50 – 14.11	1.43 (0.439) c** 1.00 – 1.88	3.92 (0.242) c*** 3.62 – 4.24	8.00 (0.611) 7.12 – 8.62
K_{Ko}	M (SD) Min - Max	3.63 (0.469) 3.00 – 4.26	3.53 (0.400) 3.00 – 4.00	5.83(0.289)b***c*** 5.38 – 6.01	25.50 (0.699) b***c*** 24.39 – 26.28	0.93 (0.068) 0.87 – 1.00	1.10 (0.446) 0.62 – 1.75	11.73(0.884)b***c*** 10.63 – 12.76
Jul								
K3	M (SD) Min - Max	6.80(0.068) a***b*** 6.75 – 6.88	41.35 (1.446) a***b*** 39.40 – 43.14	6.03(0.271)a*b*** 5.63 – 6.38	22.71 (0.625) a***b^{ns} 21.76 – 23.38	2.48 (0.103) $a^{ns}b$*** 2.38 – 2.62	3.30 (0.611) b*** 2.38 – 4.00	8.48 (0.242) a^{ns} 8.12 – 8.76
K2	M (SD) Min - Max	4.18 (0.480) c^{ns} 3.75 – 4.75	13.38 (0.602) c*** 12.74 – 14.14	5.20 (0.112) c* 5.13 – 5.38	10.26 (0.610) 9.62 – 11.26	2.40 (0.057) c*** 2.37 – 2.50	5.23(0.408)a***c*** 4.63 – 5.63	8.95 (0.736) 8.25 – 10.13
K_{Ko}	M (SD) Min - Max	4.28 (0.336) 3.88 – 4.63	3.68 (0.472) 3.13 – 4.37	4.40 (0.204) 4.25 – 4.70	19.66 (0.722) c*** 18.52 – 20.38	1.23 (0.056) 1.12 – 1.25	1.83 (0.313) 1.62 – 2.37	11.18(0.563)b***c*** 10.38 – 11.88
Avgust								
K3	M (SD) Min - Max	6.81 (0.243) $a^{ns}b$*** 6.38 – 7.01	48.93 (1.907) a***b*** 47.55 – 52.08	4.28 (0.347) a^{ns} 3.75 – 4.63	25.28 (0.519) a^{ns} 24.41 – 25.76	2.85 (0.055) a***b*** 2.75 – 2.88	4.00 (0.365) $a^{ns}b$*** 3.38 – 4.25	11.56 (0.545) a*** 10.76 – 12.27
K2	M (SD) Min - Max	7.03 (0.138) c*** 6.88 – 7.26	17.47 (1.049) c*** 15.77 – 18.52	3.88 (0.424) 3.63 – 4.63	27.85 (4.775) 22.64 – 35.54	2.18 (0.069) c* 2.13 – 2.25	3.50 (0.385) c*** 3.00 – 3.88	7.68 (0.454) 7.13 – 8.38
K_{Ko}	M (SD) Min - Max	4.43 (0.288) 4.01 – 4.63	5.41 (0.715) 4.75 – 6.38	5.41(0.379)b***c*** 5.13 – 5.88	46.75 (2.191) b***c*** 44.81 – 49.69	1.78 (0.206) 1.63 – 2.13	1.90 (0.496) 1.50 – 2.75	14.17(0.411)b***c*** 13.64 – 14.64

dvofaktorska ANOVA, n=5; M (SD); Min – minimalne vrednosti, Max - maksimalne vrednosti; (a) K3-K2; (b) K3-K_{Ko}; (c) K2-K_{Ko}; * $p<0.05$; ** $p<0.01$; *** $p<0.001$, ns = nema značajnih razlika.



Slika 53. Koncentracije hemijskih elemenata u listovima *C. epigejos* na različitim staništima tokom sezone. Poređenja su sledeća: (a) Maj - Jul; (b) Maj - Avgust; (c) Jul – Avgust (dvofaktorska ANOVA, n=5; * $p<0.05$; ** $p<0.01$; *** $p<0.001$, ns = nema značajnih razlika).

Sadržaj Zn u listovima *C. epigeios* na K3 i K2 je bio manji u odnosu na K_{Ko} u maju ($p<0.001$; $p<0.001$), julu ($p<0.001$; $p<0.001$) i avgustu ($p<0.001$; $p<0.001$). Količina Zn u listovima na K3 je samo u avgustu bila značajno veća u odnosu na K2 ($p<0.001$) (Tabela 36). Na K3 i K_{Ko}, količina Zn se povećavala tokom sezone, tako da je u avgustu bila veća u odnosu na maj ($p<0.001$; $p<0.001$) i jul ($p<0.001$; $p<0.001$). Na K2, zabeležena je značajno veća količina Zn u listovima u julu u odnosu na avgust ($p<0.05$), (Slika 53).

F. rubra

Na sadržaj As, B, Cu, Mn, Mo, Se i Zn u listovima *F. rubra* značajno utiče stanište ($p<0.01$; $p<0.001$) i sezona ($p<0.05$; $p<0.01$; $p<0.001$), pri čemu stanište ima veći uticaj od sezone (Tabela 37).

Tabela 37. Uticaj staništa i sezone na varijabilnost sadržaja hemijskih elemenata u listovima *F. rubra*.

Parametar	Stanište		Sezona		Stanište x Sezona	
	F	p	F	p	F	p
As	**139.650**	***	74.048	***	9.067	***
B	**1425.495**	**	197.421	**	83.566	**
Cu	**506.82**	**	366.31	**	97.24	**
Mn	**855.53**	***	4.20	*	78.10	***
Mo	**3157.31**	***	121.36	***	75.36	***
Se	**5.530**	**	5.323	**	7.279	***
Zn	**344.305**	***	128.374	***	15.785	***

dvofaktorska ANOVA

Sadržaj As u listovima *F. rubra* je na K3 i K2 bio veći u odnosu na K_{Bb} u maju ($p<0.001$; $p<0.001$), julu ($p<0.001$; $p<0.001$) i avgustu ($p<0.001$; $p<0.001$). Količina As u listovima je na K3 bila značajno veća samo u julu u odnosu na K2 ($p<0.001$) (Tabela 38). Tokom sezone, u maju na K3 je zabeležena manja količina As u listu u odnosu na jul ($p<0.001$) i avgust ($p<0.001$). Na K2 i K_{Bb}, veći sadržaj As je bio u avgustu u odnosu na maj ($p<0.001$; $p<0.001$) i jul ($p<0.001$; $p<0.001$) (Slika 54).

Sadržaj B u listovima *F. rubra* je na deponijama pepela, K3 i K2 bio veći u odnosu K_{Bb} u maju ($p<0.001$; $p<0.001$), julu ($p<0.001$; $p<0.001$) i avgustu ($p<0.001$). Značajno veća količina B u listovima je konstatovana na K3 u maju ($p<0.001$), julu ($p<0.001$) i avgustu ($p<0.001$) u odnosu na K2 (Tabela 38). Tokom sezone, na K3 i K2 sadržaj B se povećavao, tako da su u maju vrednosti za B bile manje u maju u odnosu na jul ($p<0.001$; $p<0.001$) i avgust ($p<0.001$; $p<0.001$). Na K_{Bb}, nisu zabeležene značajne razlike u sadržaju B u listovima tokom sezone (Slika 54).

Sadržaj Cu u listovima *F. rubra* je na K3 i K2 bio manji u odnosu na K_{Bb} u maju ($p<0.001$; $p<0.001$), julu ($p<0.001$; $p<0.001$) i avgustu ($p<0.001$; $p<0.001$). Količina Cu u listovima na K3 je bila veća samo u avgustu u odnosu na K2 ($p<0.01$) (Tabela 38). Tokom sezone, na K3 i K2, količina Cu u listovima je bila značajno veća u julu u

odnosu na maj ($p<0.05$; $p<0.001$) i avgust ($p<0.01$; $p<0.001$). Na K_{Bb}, sadržaj Cu u listovima je bio veći u maju u odnosu na jul ($p<0.001$) i avgust ($p<0.001$) (Slika 54).

Sadržaj Mn u listovima *F. rubra* je na K3 i K2 bio manji u odnosu na K_{Bb} u maju ($p<0.001$; $p<0.001$) i avgustu ($p<0.01$; $p<0.001$). U julu je sadržaj Mn u listovima na K3 bio značajno veći ($p<0.001$), a na K2 značajno manji ($p<0.001$) u odnosu na K_{Bb}. Značajno veća količina Mn u listovima je zabeležena na K3 u odnosu na K2 u maju ($p<0.001$), julu ($p<0.001$) i avgustu ($p<0.001$) (Tabela 38). Tokom sezone, sadržaj Mn u listovima je na K3 bio veći u julu u odnosu na maj ($p<0.001$) i avgust ($p<0.001$). Na K2, količina Mn je bila veća u avgustu samo u odnosu na maj ($p<0.001$). Na K_{Bb}, vrednosti Mn u julu su bile značajno manje u odnosu na maj ($p<0.001$) i avgust ($p<0.001$), (Slika 54).

Sadržaj Mo u listovima *F. rubra* je na K3 i K2 bio značajno veći u odnosu na K_{Bb} u maju ($p<0.001$; $p<0.001$), julu ($p<0.001$; $p<0.001$) i avgustu ($p<0.001$; $p<0.001$). Sadržaj Mo u listovima na K2 je bio veći u maju ($p<0.001$), julu ($p<0.001$) i avgustu $p<0.001$) u odnosu na K3 (Tabela 38). Tokom sezone, količina Mo u listovima na K3 je u avgustu bila manja u odnosu na maj ($p<0.001$) i jul ($p<0.001$), dok je na K2 bila veća u julu u odnosu na maj ($p<0.001$) i avgust ($p<0.001$). Na K_{Bb}, nisu bile zabeležene razlike u količini Mn u listovima tokom sezone (Slika 54).

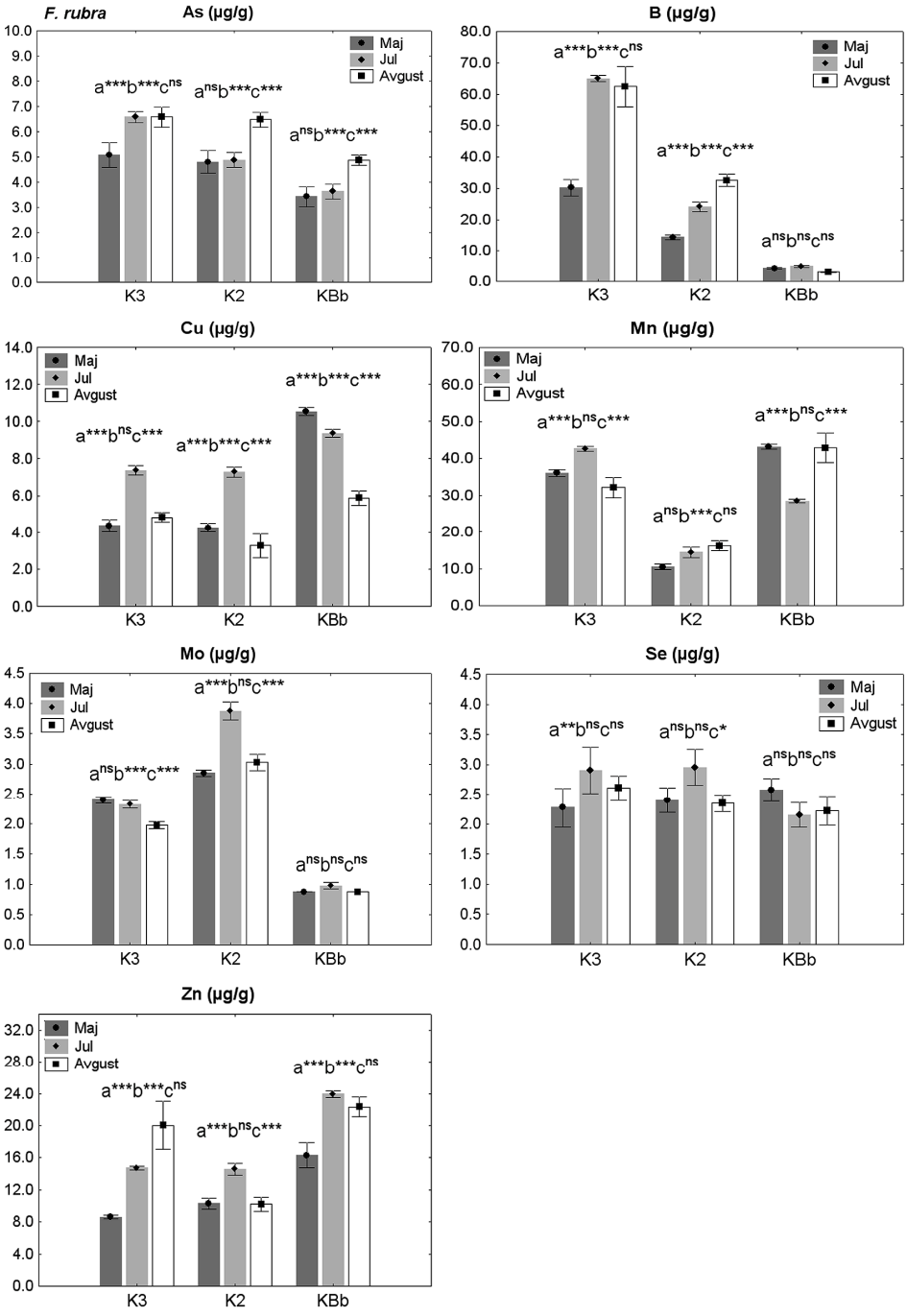
Sadržaj Se u listovima *F. rubra* je na K3 i K2 bio veći samo u julu ($p<0.01$; $p<0.001$) u odnosu na K_{Bb}. Količina Se u listovima je samo u avgustu na bila veća u odnosu na K2 ($p<0.01$) (Tabela 38). Tokom sezone, na K3 količina Se u listovima je u julu bila značajno veća u odnosu na maj ($p<0.01$), a na K2 veća vrednost Se je izmerena u julu u odnosu na avgust ($p<0.01$). Na K_{Bb}, nije bilo statistički značajnih razlika u količini Se u listovima tokom sezone (Slika 54).

Sadržaj Zn u listovima *F. rubra* je na K3 i K2 bio manji u odnosu na K_{Bb} u maju ($p<0.001$; $p<0.001$), julu ($p<0.001$; $p<0.001$) i avgustu ($p<0.001$; $p<0.001$). Sadržaj Zn u listovima na K3 je bio veći samo u avgustu u odnosu na K2 ($p<0.001$) (Tabela 38). Tokom sezone, na K3 i K_{Bb}, sadržaj Zn u listovima je u maju bio manji u odnosu na jul ($p<0.001$; $p<0.001$) i avgust ($p<0.001$; $p<0.001$). Na K2, količina Zn u listovima je bila veća u julu u odnosu na maj ($p<0.001$) i avgust ($p<0.001$) (Slika 54).

Tabela 38. Sadržaj hemijskih elemenata u listovima *F. rubra* na kasetama različite starosti (K3 i K2) deponije pepela različite starosti TENT-A u Obrenovcu i kontrolnom staništu (K_{Bb}).

Parametar		As (µg/g)	B (µg/g)	Cu (µg/g)	Mn (µg/g)	Mo (µg/g)	Se (µg/g)	Zn (µg/g)
Maj								
K3	M (SD) Min - Max	5.08 (0.488) $a^{ns}b^{***}$ 4.50 – 5.63	30.24 (2.620) a***b*** 27.14 – 34.27	4.38 (0.330) a^{ns} 4.00 – 4.89	36.13 (0.952) a*** 35.26 – 37.76	2.40 (0.056) b*** 2.38 – 2.50	2.28 (0.324)$a^{ns}b^{ns}c^{ns}$ 2.00 – 2.63	8.58 (0.228) 8.25 – 8.88
K2	M (SD) Min – Max	4.80 (0.447) c*** 4.13 – 5.25	14.35 (0.680) c*** 13.25 – 15.12	4.25 (0.233) 4.00 – 4.37	10.45 (0.725) 10.00 – 11.75	2.85 (0.056) a***c*** 2.75 – 2.88	2.40 (0.205) 2.25 – 2.75	10.30 (0.715) a^{ns} 9.37 – 11.37
K_{Bb}	M (SD) Min - Max	3.43 (0.402) 3.00 – 4.00	4.15 (0.163) 3.88 – 4.25	10.53(0.207)b***c*** 10.38 – 10.89	43.15 (0.691) b***c*** 42.39 – 44.24	0.87 (0.0005) 0.87 – 0.88	2.57 (0.190) 2.25 – 2.63	16.30(1.582)b***c*** 14.14 – 18.14
Jul								
K3	M (SD) Min - Max	6.58(0.226) a***b*** 6.26 – 6.88	64.94 (0.987) a***b*** 63.41 – 66.16	7.35 (0.256) a^{ns} 7.13 – 7.75	42.71 (0.676) a***b*** 41.90 – 43.65	2.33 (0.068) b*** 2.25 – 2.38	2.91 (0.390) $a^{ns}b^{**}$ 2.50 – 3.50	14.71 (0.259) a^{ns} 14.51 – 15.13
K2	M (SD) Min - Max	4.88 (0.292) c*** 4.38 – 5.13	24.07 (1.588) c*** 21.53 – 25.76	7.28 (0.284) 7.00 – 7.63	14.46 (1.449) 13.02 – 16.88	3.88 (0.152) a***c*** 3.63 – 4.00	2.95 (0.302) c*** 2.63 – 3.38	14.56 (0.771) 13.6415.76
K_{Bb}	M (SD) Min - Max	3.63 (0.291) 3.26 – 3.88	4.75 (0.293) 4.51 – 5.13	9.36 (0.208) b***c*** 9.13 – 9.63	28.51 (0.459) c*** 27.91 – 29.03	0.98 (0.056) 0.88 – 1.00	2.15 (0.206) 1.88 – 2.38	23.95(0.422)b***c*** 23.40 – 24.40
Avgust								
K3	M (SD) Min - Max	6.58 (0.403) a^{ns} 6.01 – 7.14	62.47 (6.444) a***b*** 53.96 – 68.21	4.83 (0.262) a*** 4.37 – 5.01	32.18 (2.788) a*** 28.67 – 35.05	1.98 (0.057) b*** 1.88 – 2.00	2.60 (0.206) $a^{**}b^{ns}$ 2.38 – 2.88	14.82 (1.929) a*** 13.00 – 17.90
K2	M (SD) Min - Max	6.48 (0.290) c*** 6.12 – 6.76	32.52 (2.017) c*** 30.92 – 36.01	3.28 (0.641) 2.75 – 4.38	16.21 (1.308) 14.64 – 18.13	3.03 (0.136) a***c*** 2.88 – 3.25	2.35 (0.137) c^{ns} 2.25 – 2.50	10.21 (0.871) 9.66 – 11.75
K_{Bb}	M (SD) Min - Max	4.88 (0.199) b*** 4.63 – 5.13	2.98 (0.206) 2.75 – 3.25	5.88 (0.387) b***c*** 5.37 – 6.26	42.89 (3.985) b***c*** 38.14 – 48.35	0.88 (0.0004) 0.87 – 0.88	2.23 (0.240) 1.88 – 2.38	22.32(1.230)b***c*** 20.62 – 24.02

dvofaktorska ANOVA, n=5; M (SD); Min – minimalne vrednosti, Max - maksimalne vrednosti; (a) K3-K2; (b) K3-K_{Bb}; (c) K2-K_{Bb}; ** $p<0.01$; *** $p<0.001$, ns = nema značajnih razlika.



Slika 54. Koncentracije hemijskih elemenata u listovima *F. rubra* na različitim staništima tokom sezone. Poređenja su sledeća: (a) Maj - Jul; (b) Maj - Avgust; (c) Jul – Avgust (dvofaktorska ANOVA, n=5; * $p<0.05$; ** $p<0.01$; *** $p<0.001$, ns = nema značajnih razlika).

D. glomerata

Na sadržaj As, B, Cu, Mn, Mo, Se i Zn u listovima *D. glomerata* značajno utiče stanište ($p<0.01$; $p<0.001$) i sezona ($p<0.05$; $p<0.01$; $p<0.001$), pri čemu stanište ima veći uticaj od sezone (Tabela 39).

Tabela 39. Uticaj staništa i sezone na varijabilnost sadržaja hemijskih elemenata u listu *D. glomerata*.

Parametar	Stanište		Sezona		Stanište x Sezona	
	F	p	F	p	F	p
As	**747.570**	***	11.570	***	26.892	***
B	**4167.981**	***	162.666	***	162.971	***
Cu	**580.01**	***	83.50	***	9.26	**
Mn	**5067.36**	***	17.19	***	42.47	***
Mo	**8751.23**	**	5656.73	**	4461.12	**
Se	**189.681**	***	3.938	*	8.694	**
Zn	**2003.80**	***	5.63	**	37.97	***

dvofaktorska ANOVA

Sadržaj As u listovima *D. glomerata* je na K3 bio značajno veći u odnosu na K_{Ko} u maju ($p<0.001$), julu ($p<0.001$) i avgustu ($p<0.001$) (Tabela 40). Na K3, sadržaj As u listovima je na K3 u maju bio manji u odnosu na jul ($p<0.001$) i avgust ($p<0.001$), (Slika 55).

Sadržaj B u listovima *D. glomerata* je na K3 bio značajno veći u odnosu na K_{Ko} u maju ($p<0.001$), julu ($p<0.001$) i avgustu ($p<0.001$) (Tabela 40). Tokom sezone, na K3 vrednosti B u listovima su bile veće u julu u odnosu na maj ($p<0.001$) i avgust ($p<0.001$) (Slika 55).

Sadržaj Cu u listovima *D. glomerata* je na deponiji pepela K3 bio manji u odnosu na K_{Ko} u maju ($p<0.001$), julu ($p<0.001$) i avgustu ($p<0.001$) (Tabela 40). Tokom sezone, na K3 i K_{Ko}, sadržaj Cu u listovima je u julu bio veći u odnosu na maj ($p<0.001$; $p<0.05$) i avgust ($p<0.001$; $p<0.001$) (Slika 55).

Sadržaj Mn u listovima *D. glomerata* je na K3 bio manji u odnosu na K_{Ko} u maju ($p<0.001$), julu ($p<0.001$) i avgustu ($p<0.001$). Na K3, količina Mn u listovima je u julu bila manja u odnosu na maj ($p<0.05$) i avgust ($p<0.001$) (Tabela 40). Na K_{Ko}, vrednosti Mn su u maju bile manje u odnosu na jul ($p<0.001$) i avgust ($p<0.001$) (Slika 55).

Sadržaj Mo u listovima *D. glomerata* je na K3 bio značajno veći u odnosu na K_{Ko} u maju ($p<0.001$), julu ($p<0.001$) i avgustu ($p<0.001$) (Tabela 40). Tokom sezone, na K3, sadržaj Mo u listovima je u maju bio veći u odnosu na jul ($p<0.001$) i avgust ($p<0.001$). Na K_{Ko}, sadržaj Mo u listovima je u julu bio veći u odnosu na maj ($p<0.001$) i avgust ($p<0.001$) (Slika 55).

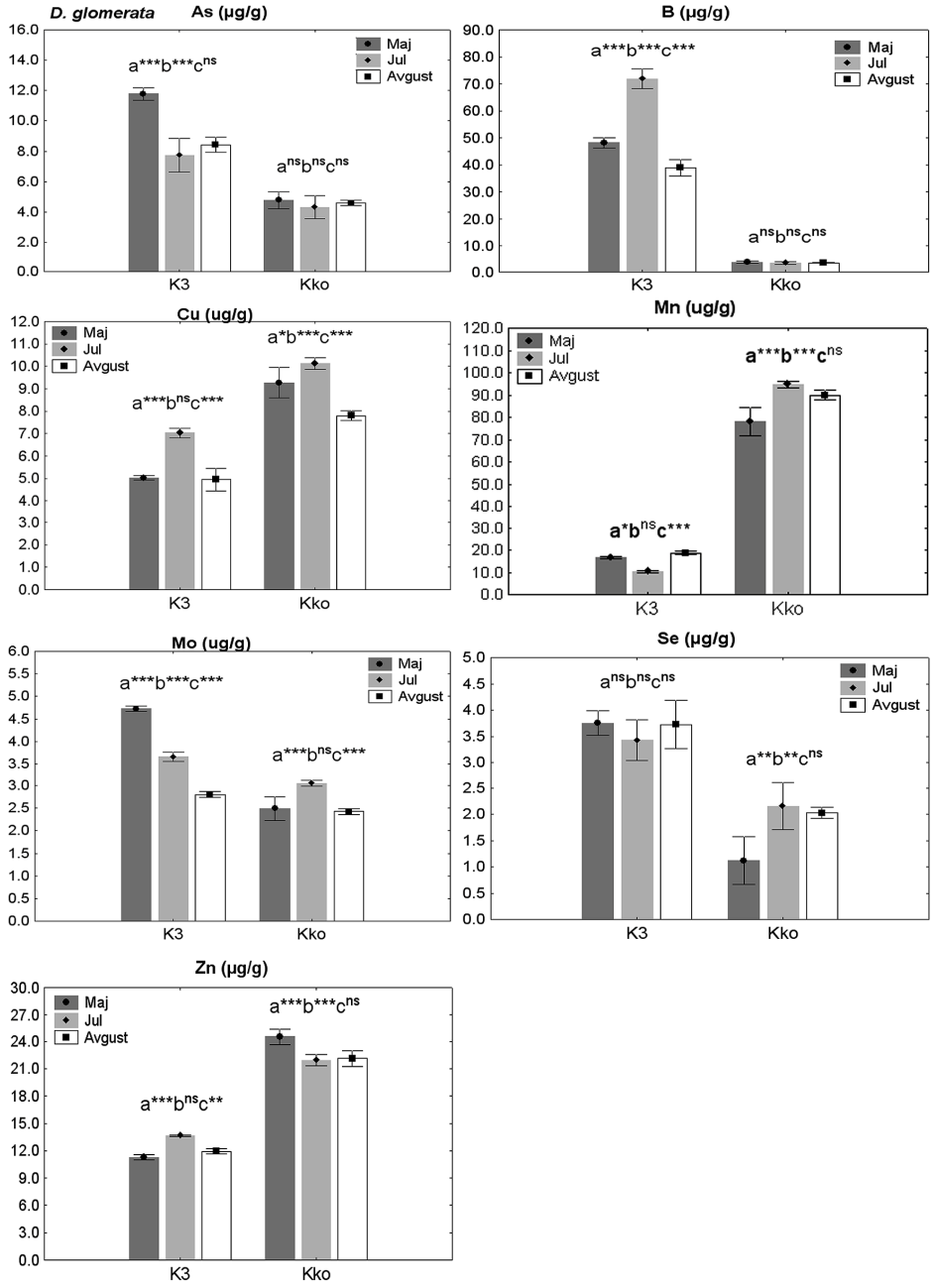
Sadržaj Se u listovima *D. glomerata* je na K3 bio značajno veći u odnosu na K_{Ko} u maju ($p<0.001$), julu ($p<0.001$) i avgustu ($p<0.001$) (Tabela 40). Tokom sezone, sadržaj Se u listovima na K3 se nije značajno menjao, dok je na K_{Ko} u maju bio značajno manji u odnosu na jul ($p<0.01$) i avgust ($p<0.01$) (Slika 55).

Sadržaj Zn u listovima *D. glomerata* je na K3 bio manji u odnosu na K_{Ko} u maju ($p<0.001$), julu ($p<0.001$) i avgustu ($p<0.001$) (Tabela 40). Tokom sezone, sadržaj Zn u listovima je na K3 bio veći u julu u odnosu na maj ($p<0.001$) i avgust ($p<0.01$), dok je na K_{Ko} količina Zn bila veća u maju u odnosu na jul ($p<0.001$) i avgust ($p<0.001$), (Slika 55).

Tabela 40. Sadržaj hemijskih elemenata u listovima *D. glomerata* na kaseti (K3) deponije pepela TENT-A u Obrenovcu i kontrolnom staništu (K_{Ko}).

Parametar		As (µg/g)	B (µg/g)	Cu (µg/g)	Mn (µg/g)	Mo (µg/g)	Se (µg/g)	Zn (µg/g)
Maj								
K3	M (SD)	5.48 (0.256) a***	48.23 (1.878) a***	5.03 (0.105)	16.56 (0.329)	4.73 (0.056) a***	3.75 (0.324) a***	11.26 (0.294)
	Min - Max	5.25 – 5.75	45.74 – 50.40	4.88 – 5.13	16.13 – 16.89	4.63 – 4.75	3.50 – 4.13	10.76 – 11.51
K_{Ko}	M (SD)	3.66 (0.468)	3.68 (0.285)	9.28 (0.676) a***	78.10 (6.250) a***	2.49 (0.268)	1.12 (0.454)	24.52 (0.903) a***
	Min - Max	3.13 – 4.42	3.38 – 4.12	8.76 – 10.45	72.94 – 88.90	2.38 – 2.94	0.63 – 1.50	23.64 – 25.89
Jul								
K3	M (SD)	6.86 (0.309) a***	71.91 (3.712) a***	7.03 (0.219)	10.36 (0.345)	3.65 (0.103) a***	3.43 (0.382) a***	13.65 (0.103)
	Min - Max	6.38 – 7.13	68.46 – 77.46	6.76 – 7.37	9.76 – 10.64	3.50 – 3.75	3.00 – 3.88	13.14 – 14.39
K_{Ko}	M (SD)	3.41 (0.240)	3.40 (0.494)	10.13 (0.261) a***	94.75 (1.475) a***	3.05 (0.070)	2.15 (0.445)	21.94 (0.638) a***
	Min - Max	3.13 – 3.76	3.00 – 4.00	9.76 – 10.39	93.34 – 96.87	3.00 – 3.13	1.50 – 2.63	21.16 – 22.61
Avgust								
K3	M (SD)	6.86 (0.052) a***	39.00 (2.980) a***	4.95 (0.511)	18.76 (0.595)	2.80 (0.069) a**	3.73 (0.461) a***	11.91 (0.294)
	Min - Max	6.76 – 6.88	35.26 – 41.78	4.38 – 5.63	18.00 – 19.63	2.75 – 2.88	3.13 – 4.25	11.52 – 12.26
K_{Ko}	M (SD)	3.35 (0.271)	3.33 (0.143)	7.80 (0.228) a***	89.94 (2.166) a***	2.43 (0.068)	2.03 (0.104)	22.12 (0.837) a***
	Min - Max	3.00 – 3.75	3.13 – 3.50	7.51 – 8.01	87.34 – 92.07	2.38 – 2.50	1.88 – 2.13	21.15 – 23.27

dvofaktorska ANOVA, n=5; M (SD); Min – minimalne vrednosti, Max - maksimalne vrednosti; (a) K3-K_{Ko}; **p<0.01; *** p<0.001, ns = nema značajnih razlika.



Slika 55. Koncentracije hemijskih elemenata u listovima *D. glomerata* na različitim staništima tokom sezone. Poređenja su sledeća: (a) Maj - Jul; (b) Maj - Avgust; (c) Jul – Avgust (dvofaktorska ANOVA, n=5; * $p<0.05$; ** $p<0.01$; *** $p<0.001$, ns = nema značajnih razlika).

O. biennis

Na sadržaj As, B, Cu Mn, Mo, Se i Zn u listovima *O. biennis* značajno utiče stanište ($p<0.01$; $p<0.001$) i sezona ($p<0.01$; $p<0.001$). Kod svih hemijskih elemenata stanište ima veći uticaj od sezone, izuzev kod Cu (Tabela 41).

Tabela 41. Uticaj staništa i sezone na varijabilnost sadržaja hemijskih elemenata u listu *O. biennis*.

Parametar	Stanište		Sezona		Stanište x Sezona	
	F	p	F	p	F	p
As	**177.214**	***	27.138	***	25.849	***
B	**11691.80**	**	3973.16	**	7425.43	**
Cu	76.64	***	**477.99**	***	202.36	***
Mn	**4872.98**	**	236.78	**	395.39	**
Mo	**4872.31**	**	377.60	**	223.37	**
Se	**268.190**	***	12.760	***	20.263	***
Zn	**773.83**	***	22.54	***	54.31	***

dvofaktorska ANOVA

Sadržaj As u listovima *O. biennis* je na K3 i K2 bio veći u odnosu na K_{Bk} u maju ($p<0.001$; $p<0.001$), julu ($p<0.001$; $p<0.001$) i avgustu ($p<0.001$; $p<0.001$). Količina As u listovima je na K3 u julu bila veća ($p<0.001$), a u avgustu manja ($p<0.001$) u odnosu na K2 (Tabela 42). Tokom sezone, na K3 količina As u listovima je bila veća u julu u odnosu na maj ($p<0.001$) i avgust ($p<0.001$). Na K2 i K_{Bk}, sadržaj As u listovima je bio veći u avgustu u odnosu na maj ($p<0.001$; $p<0.01$) i jul ($p<0.001$; $p<0.05$) (Slika 56).

Sadržaj B u listovima *O. biennis* je na K3 i K2 bio veći u odnosu na K_{Bk} u maju ($p<0.001$; $p<0.001$), julu ($p<0.001$; $p<0.01$) i avgustu ($p<0.001$; $p<0.001$). Količina B u listovima na K3 je u maju ($p<0.001$) i avgustu bila manja ($p<0.001$), a u julu značajno veća ($p<0.001$) u odnosu na K2 (Tabela 42). Tokom sezone, na K3 sadržaj B u listovima je bio veći u julu u odnosu na maj ($p<0.001$) i avgust ($p<0.001$). Na K2 i K_{Bk}, količina B je bila veća u avgustu u odnosu na maj ($p<0.001$; $p<0.01$) i jul ($p<0.001$; $p<0.001$) (Slika 56).

Sadržaj Cu u listovima *O. biennis* je na K3 i K2 bio veći u julu ($p<0.01$; $p<0.001$) i avgustu ($p<0.001$; $p<0.001$) u odnosu na K_{Bk}, a u maju je samo na K2 bio veći u odnosu na K_{Bk} ($p<0.001$). Značajno veći sadržaj Cu u listovima je bio zabeležen na K2 u maju u

odnosu na K3 ($p<0.001$) (Tabela 42). Tokom sezone, na K3 i K2 sadržaj Cu u listovima je bio veći u maju u odnosu na jul ($p<0.001$; $p<0.001$) i avgust ($p<0.001$; $p<0.001$). Na K_{Bk}, sadržaj Cu u listovima je u julu bio veći u odnosu na maj ($p<0.001$) i avgust ($p<0.001$) (Slika 56).

Sadržaj Mn u listovima *O. biennis* je na K3 i K2 bio manji u odnosu na K_{Bk} u maju ($p<0.001$; $p<0.001$), julu ($p<0.001$; $p<0.001$) i avgustu ($p<0.001$; $p<0.001$). Količina Mn u listovima je na K3 u maju bila veća ($p<0.001$), a u julu ($p<0.001$) i avgustu ($p<0.001$) manja u odnosu na K2 (Tabela 42). Tokom sezone, Na K3 sadržaj Mn u listovima je bio veći u maju u odnosu na jul ($p<0.001$) i avgust ($p<0.001$). Na K2 i K_{Bk}, količina Mn je bila manja u maju u odnosu na jul ($p<0.001$; $p<0.001$) i avgust ($p<0.001$; $p<0.001$) (Slika 56).

Sadržaj Se u listovima *O. biennis* je na K3 i K2 bio veći u maju ($p<0.001$; $p<0.001$) u odnosu na $K_{Bk,}$ dok je u julu ($p<0.001$) i avgustu ($p<0.001$) bio veći samo na K3. Količina Se u listovima je na K3 bila značajno veća u julu ($p<0.001$) i avgustu ($p<0.001$) u odnosu na K2 (Tabela 42). Tokom sezone, na K3, sadržaj Se u listovima je bio značajno manji u maju u odnosu na jul ($p<0.001$) i avgust ($p<0.05$). Na K2, količina Se u listovima u maju je bila značajno veća samo u odnosu na jul ($p<0.05$). Na K_{Bk}, sadržaj Se u listovima je u maju bio veći u odnosu samo u odnosu na jul ($p<0.01$), (Slika 56).

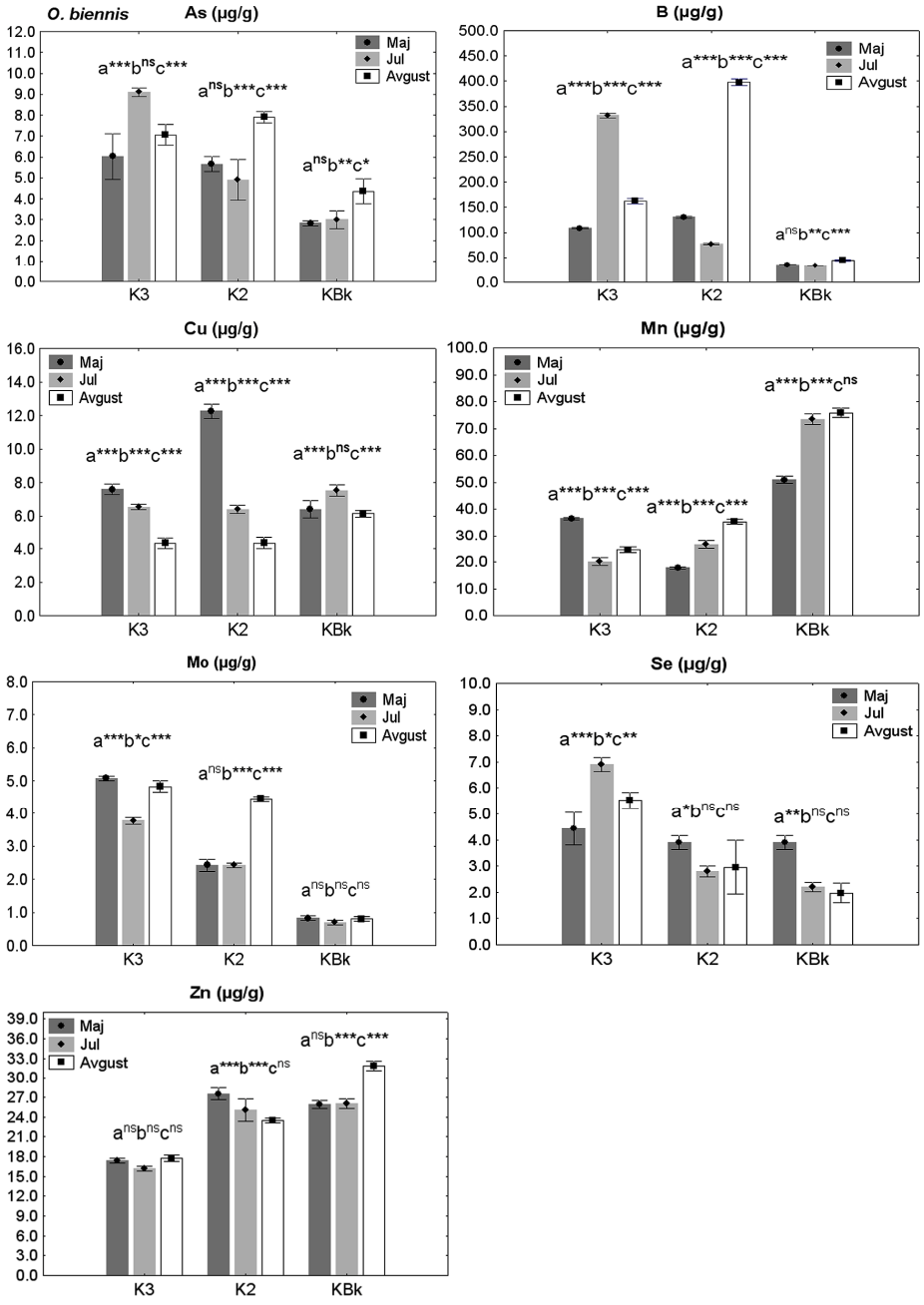
Sadržaj Zn u listovima *O. biennis* je na K3 i K2 bio manji u odnosu na K_{Bk} u avgustu ($p<0.001$; $p<0.001$), dok je u maju ($p<0.001$) i julu ($p<0.001$) bio manji samo na K3. Sadržaj Zn u listovima je na K2 bio veći u maju ($p<0.01$), julu ($p<0.001$) i avgustu ($p<0.001$) u odnosu na K3 (Tabela 42). Tokom sezone, količina Zn u u listovima na K3 se nije značajno menjala. Sadržaj Zn u listovima je na K2 u maju bio značajno veći u odnosu na jul ($p<0.001$) i avgust ($p<0.001$). Na K_{Bk}, vrednosti Zn su u avgustu bile veće u odnosu na maj ($p<0.001$) i jul ($p<0.001$) (Slika 56).

U listovima ***C. epigejos, F. rubra, D. glomerata*** i ***O. biennis*** sadržaj As, B, Mo i Se je na deponiji pepela veći, a Cu, Mn i Zn manji u odnosu na kontrolna staništa, izuzev Cu kod ***O. biennis.***

Tabela 42. Sadržaj hemijskih elemenata u listovima *O. biennis* na kasetama različite starorsti (K3 i K2) deponije pepela TENT-A u Obrenovcu i kontrolnom staništu (K_{Bk}).

Parametar		As (µg/g)	B (µg/g)	Cu (µg/g)	Mn (µg/g)	Mo (µg/g)	Se (µg/g)	Zn (µg/g)
Maj								
K3	M (SD) Min - Max	6.02 (1.097) $a^{ns}b^{***}$ 4.25 – 6.88	108.65 (1.200) b*** 106.62 – 109.68	7.60 (0.323) b*** 7.13 – 8.00	36.44 (0.475) a*** 35.75 – 37.02	5.07(0.065) a***b*** 5.00 – 5.13	4.42 (0.624) $a^{ns}b^{***}$ 3.75 – 5.11	17.42 (0.370) 16.89 – 17.89
K2	M (SD) Min – Max	5.66 (0.359) c*** 5.37 – 6.26	130.31(2.334) a***c*** 128.03 – 134.12	12.25(0.442)a***c*** 11.89 – 13.00	17.85 (0.383) 17.50 – 18.37	2.43 (0.189) c*** 2.13 – 2.62	3.90 (0.271) c*** 3.63 – 4.25	27.53 (0.874) a*** 26.74 – 28.87
K_{Bk}	M (SD) Min - Max	2.83 (0.111) 2.63 – 2.88	35.25 (1.012) 34.17 – 36.76	6.41 (0.520) 6.00 – 7.26	50.94 (1.386) b***c*** 49.37 – 52.32	0.83 (0.069) 0.75 – 0.88	1.03 (0.223) 0.63 – 1.13	25.91 (0.626) $b^{***}c^{ns}$ 25.13 – 26.77
Jul								
K3	M (SD) Min - Max	9.11(0.205) a***b*** 8.88 – 9.38	332.04(4.688) a***b*** 327.66 – 339.92	6.53 (0.162) a^{ns} 6.38 – 6.75	20.14 (1.491) 19.13 – 22.76	3.78(0.105) a***b*** 3.75 – 3.88	6.90(0.256)a***b*** 6.50 – 7.13	16.19 (0.327) 15.63 – 16.63
K2	M (SD) Min - Max	4.90 (0.979) c*** 3.75 – 5.88	76.89 (1.428) c*** 75.77 – 79.37	6.40 (0.256) 6.00 – 6.63	26.54 (1.386) a*** 25.39 – 27.62	2.43 (0.068) c*** 2.38 – 2.50	2.80 (0.209) c^{ns} 2.63 – 3.13	25.05 (1.642) a*** 23.64 – 27.42
K_{Bk}	M (SD) Min - Max	3.01 (0.424) 2.38 – 3.38	32.98 (0.718) 32.02 – 33.89	7.53 (0.346) b**c*** 7.26 – 8.13	73.48 (1.926) b***c*** 71.54 – 76.41	0.70 (0.069) 0.62 – 0.75	2.20 (0.189) 2.00 – 2.50	26.07 (0.726) $b^{***}c^{ns}$ 25.14 – 27.14
Avgust								
K3	M (SD) Min - Max	7.06 (0.484) b*** 6.38 – 7.64	162.55 (5.307) b*** 158.82 – 171.13	4.33 (0.313) a^{ns} 3.88 – 4.75	24.55 (0.932) 23.90 – 26.16	4.83 (0.163) a**b*** 4.64 – 5.00	5.53(0.308)a***b*** 5.01 – 5.76	17.74 (0.498) a*** 17.23 – 18.39
K2	M (SD) Min - Max	7.91(0.272) a***c*** 7.51 – 8.14	397.58(6.419) a***c*** 387.64 – 404.05	4.33 (0.338) 3.75 – 4.63	35.33 (0.888) a*** 34.41 – 36.40	4.45 (0.069) c*** 4.38 – 4.51	2.95 (1.023) c^{ns} 1.13 – 3.50	23.46 (0.400) 22.89 – 23.88
K_{Bk}	M (SD) Min - Max	4.35 (0.601) 3.75 – 5.10	44.66 (1.157) 43.45 – 46.05	6.14 (0.187) b***c*** 5.92 – 6.39	75.87 (1.714) b***c*** 73.75 – 77.24	0.80 (0.068) 0.75 – 0.88	1.98 (0.366) 1.51 – 2.50	31.83(0.734)b***c*** 30.63 – 32.43

dvofaktorska ANOVA, n=5; M (SD); Min – minimalne vrednosti, Max - maksimalne vrednosti; (a) K3-K2; (b) K3-K_{Ko} (c) K2-K_{Ko}; ** p<0.01; *** p<0.001, ns = nema značajnih razlika.



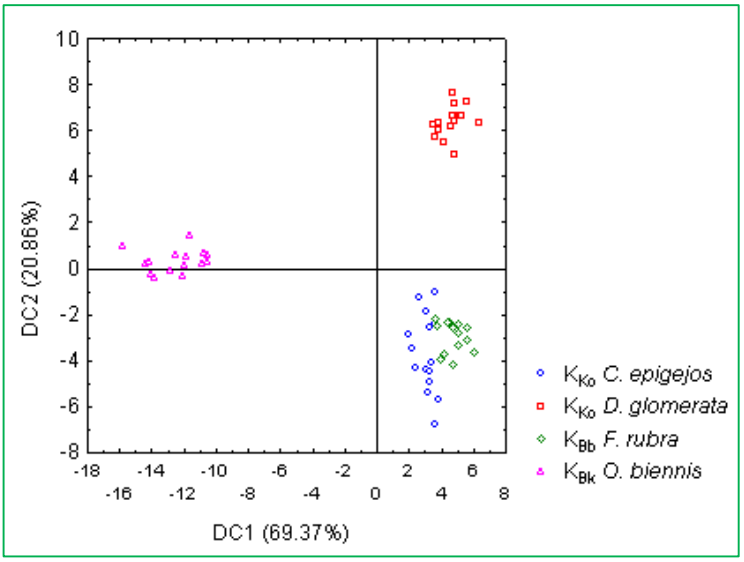
Slika 56. Koncentracije hemijskih elemenata u listovima *O. biennis* na različitim staništima tokom sezone. Poređenja su sledeća: (a) Maj - Jul; (b) Maj - Avgust; (c) Jul – Avgust (dvofaktorska ANOVA, n=5; * $p<0.05$; ** $p<0.01$; *** $p<0.001$, ns = nema značajnih razlika).

U listovima ***C. epigejos, F. rubra, D. glomerata*** i ***O. biennis*** sadržaj As, B, Mo i Se je na deponiji pepela veći, a Cu, Mn i Zn manji u odnosu na kontrolna staništa, izuzev Cu kod ***O. biennis.***

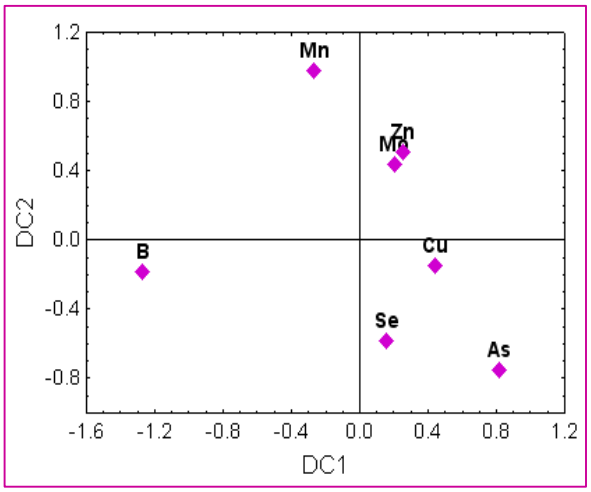
Na Slikama 57 i 58 su prikazani rezultati **kanonijske diskriminacione analize na osnovu sadržaja hemijskih elemenata u listu na kontrolnim staništima**. Prva diskriminaciona funkcija (DC1) objašnjava najveći procenat varijabilnosti i iznosi 69.37%. Prema DC1 jasno se izdvaja vrsta *O. biennis* od drugih ispitivanih vrsta i najveći značaj u tome imaj B. Druga diskriminaciona funkcija (DC2) objašnjava manji procenat varijabilnosti i ona iznosi 20.86%. Prema DC2, vrsta *D. glomerata* se jasno odvaja od vrsta *F. rubra* i *C. epigejos* i tome najviše pridonose Mn.

Na Slikama 59 i 60 su prikazani rezultati kanonijske diskriminacione analize **na osnovu sadržaja hemijskih elemenata u listu na K3**. Kumulativni procenat varijanse za prvu diskriminacionu funkciju (DC1) iznosi 76.31%, a za drugu diskriminacionu funkciju (DC2) 21.01%. Prema DC1 zapaža se jasno razdvajanje *O. biennis* od ostalih biljaka, a razlikama najviše doprinose B. Prema DC2 uočava se jasno odvajanje vrste *F. rubra* od vrste *O. biennis*, a varijable koje najviše doprinose razlikama je Se.

Na Slikama 61 i 62 su prikazani rezultati kanonijske diskriminacione analize **na osnovu sadržaja hemijskih elemenata u listu na K2**. Prema prvoj diskriminacionoj funkciji (DC1) koja iznosi 91.59% od ukupne varijabilnosti ispitivanih parametara, najznačajnije je odvajanje vrste *O. biennis* od vrsta *C. epigejos* i *D. glomerata*, a razlikama najviše pridonosi B. Druga diskriminaciona funkcija (DC2) objašnjava 8.41% varijanse za ispitivana parametre i jasno se razdvajaju vrsta *C. epigejos* od vrste *F. rubra*, a najveći doprinos tim razlikama daje Mo.

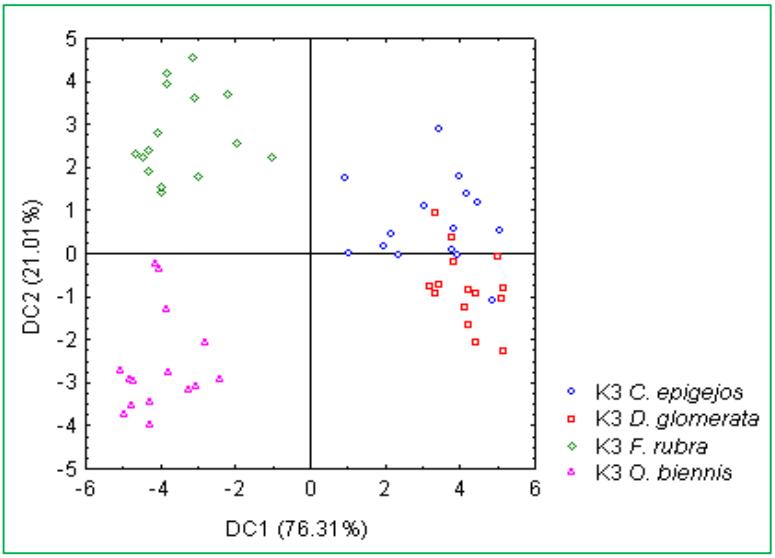


Slika 57. Kanonijska diskriminaciona analiza – grupisanje ispitivanih biljaka na osnovu hemijskih elemenata u listu na kontrolnim staništima.

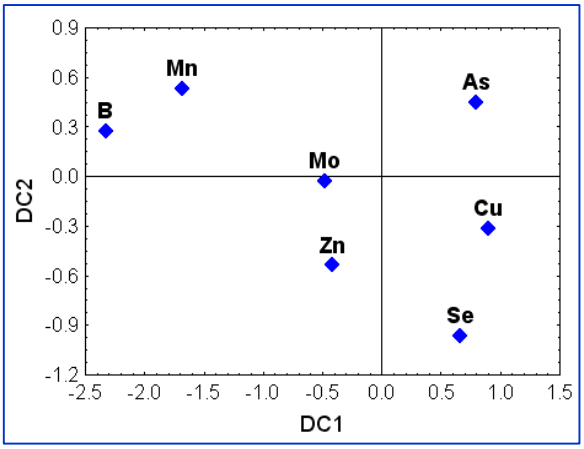


	Diskriminaciona funkcija 1 DC1	Diskriminaciona funkcija 2 DC2
As	0.82403	-0.75733
B	**-1.26692**	-0.18494
Cu	0.44437	-0.15130
Mn	-0.26147	**0.97797**
Mo	0.20438	0.43329
Se	0.16022	-0.58567
Zn	0.25887	0.50344
Eigen – vrednost	56.52246	16.98988
Kumulativni procenat	0.69375	0.90229

Slika 58. Standardizovani koeficijenti za kanonijske varijable; doprinos hemijskih elemenata varijabilnosti u listu između ispitivanih biljaka na kontrolnim staništima.

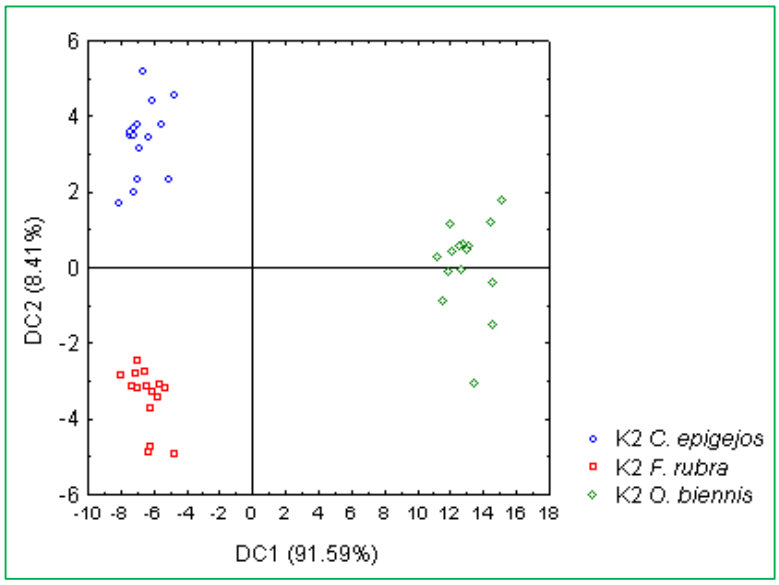


Slika 59. Kanonijska diskriminaciona analiza – grupisanje ispitivanih biljaka na osnovu hemijskih elemenata u listu na K3.

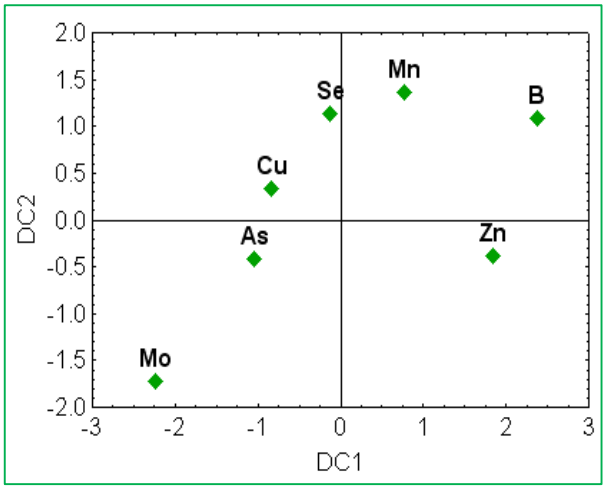


	Diskriminaciona funkcija 1 DC1	Diskriminaciona funkcija 2 DC2
As	0.79991	0.448399
B	**-2.32849**	0.274302
Cu	0.89431	-0.317313
Mn	-1.68237	0.528581
Mo	-0.47696	-0.027761
Se	0.66051	**-0.967002**
Zn	-0.41331	-0.538437
Eigen – vrednost	15.06963	4.149297
Kumulativni procenat	0.76307	0.973176

Slika 60. Standardizovani koeficijenti za kanonijske varijable; doprinos hemijskih elemenata varijabilnosti u listu između ispitivanih biljaka na K3.



Slika 61. Kanonijska diskriminaciona analiza – grupisanje ispitivanih biljaka na osnovu hemijskih elemenata u listu na K2.



	Diskriminaciona funkcija 1 DC1	Diskriminaciona funkcija 2 DC2
As	-1.03032	-0.41835
B	**2.38434**	1.07962
Cu	-0.82706	0.32627
Mn	0.77668	1.35431
Mo	-2.22489	**-1.73822**
Se	-0.12074	1.12684
Zn	1.84300	-0.39183
Eigen – vrednost	90.93063	8.35413
Kumulativni procenat	0.91586	1.00000

Slika 62. Standardizovani koeficijenti za kanonijske varijable; doprinos hemijskih elemenata varijabilnosti u listu između ispitivanih biljaka na K2.

5.4.3. Sezonska dinamika biokoncentracionog faktora (BCF) i translokacionog faktora (TF) ispitivanih biljaka

C. epigejos

Biokoncentracioni faktor **(BCF) za As** je na svim staništima tokom sezone bio manji od 1 (BCF <1). Translokacioni faktor **(TF) za As** je varirao: na K3 i K2 i na K_{Ko} u maju i julu je bio manji od 1 (TF<1), na K2 u maju i avgustu, na K3 u julu i avgustu i na K_{Ko} u avgustu je bio veći od 1 (TF>1).

BCF za B je tokom cele sezone na svim staništima bio manji od 1 (BCF<1) osima na K_{Ko} u avgustu. **TF za B** je bio tokom cele sezone na svim staništima veći od 1 (TF>1).

BCF za Cu je na svim staništima tokom sezone bio manji (BCF<1) ili jednak 1 na K2 u julu. **TF za Cu** je na svim staništima tokom sezone bio veći od 1 (TF>1), izuzev na K_{Ko} (TF<1) u julu i avgustu.

BCF za Mn je na svim staništima tokom sezone bio manji od 1 (BCF<1). **TF za Mn** je na svim staništima tokom sezone bio veći od 1 (TF>1).

BCF za Mo je na svim staništima tokom sezone bio manji od 1 (BCF<1). **TF za Mo** je na svim staništima tokom sezone bio veći od 1 (TF>1).

BCF za Se je na staništima bio veći od 1 (BCF >1) izuzev na K2 u maju i na K3 u avgustu. **TF za Se** je na kontrolnom staništu bio manji od 1 (TF<1) dok je na K3 i K2, translokacioni faktor je bio veći od 1 (TF>1).

BCF i **TF za Zn** su na svim staništima tokom sezone bili manji od 1 (BCF<1; TF<1) (Tabela 43).

F. rubra

Biokoncentracioni faktor **(BCF)** i translokacioni faktor **(TF) za As** su na svim staništima tokom sezone bili manji od 1 (BCF<1; TF<1).

BCF za B kod na K3 i K2 je bio manji od 1 (BCF<1). Na $K_{Bb,}$ BCF je u najvećem delu sezone bio veći od 1 (BCF>1). **TF** je na K3 i K2 bio veći od 1 (TF>1), dok je na K_{Bb}, bio manji od 1 (TF<1).

BCF za Cu kod je na svim staništima tokom sezone bio manji od 1 (BCF<1). **TF za Cu** je na K3 i K2 bio manji od 1 (TF<1) nasuprot K_{Bb}, gde je TF za Cu bio veći od 1 (TF>1).

BCF za Mn je na svim staništima tokom sezone bio manji od 1 (BCF<1). **TF za Mn** je bio na K3 i K_{Bb} veći od 1 (TF>1) za razliku od K2.

BCF za Mo je na svim staništima tokom sezone bio manji od 1 (BCF<1). **TF za Mo** na K3 i K2 je bio veći od 1 (TF>1) za razliku od K_{Bb}.

BCF za Se je na svim staništima tokom sezone bio veći od 1 (BCF>1), izuzev na K2 u maju (0.984). **TF za Se** je na svim staništima tokom sezone bio manji od 1 (TF<1) osim na K_{Bb} u avgustu (1.088).

BCF za Zn je uglavnom na staništima tokom sezone bio manji od 1 (BCF<1), osim na K2 u julu (1.300). **TF za Zn** je na svim staništima bio manji od 1 (TF<1) (Tabela 44).

D. glomerata

Biokoncentracioni faktor **(BCF) i** translokacioni faktor **(TF) za As** su na oba staništa bili manji od 1 (BCF<1; TF<1).

BCF za B na K3 je bio manji od 1 (BCF <1), a na K_{Ko} (BCF>1). **TF za B** je na K3 bio veći od 1 (TF>1), dok je na K_{Ko} TF za B je bio manji od 1 (TF<1).

BCF za Cu je na oba staništa tokom sezone bio manji od 1 (BCF<1). **TF za Cu** je na K3 bio manji od 1 (TF<1), a na K_{Ko} (TF>1).

BCF za Mn je na oba staništa bio manji od 1 (BCF<1). **TF za Mn** je na K3 bio manji od 1 (TF<1), dok je na K_{Ko} bio veći od 1 (TF>1).

BCF za Mo je bio manji od 1 (BCF<1), dok je **TF za Mo** na oba staništa bio veći od 1 (TF>1).

BCF za Se je na oba staništa bio veći od 1 (BCF>1). **TF za Se** je na K3 u maju i na K_{Ko} u julu bio veći od 1 (TF>1), dok je na K3 u julu i avgustu i na K_{Ko} u maju i avgustu bio manji od 1.

BCF za Zn na na oba staništa bio manji od 1 (BCF<1). **TF za Zn** je na K3 tokom sezone bio manji od 1 (TF<1), dok je na K_{Ko} u maju i julu bio veći od 1 (TF>1), a u avgustu manji od 1 (Tabela 45).

O. biennis

Biokoncentracioni faktor **(BCF) za As** na svim staništima je bio manji od 1 (BCF<1). Translokacioni faktor **(TF) za As** je na K3 i K2 tokom sezone bio manji od 1 (TF>1), a na K_{Bk} (TF<1).

BCF za B je na K3 i K2 bio manji od 1 (BCF<1), dok je na K_{Bk} bio veći od 1. **TF za B** je na svim staništima tokom sezone bio veći od 1 (TF>1).

BCF za Cu je na svim staništima tokom sezone bio manji od 1 (BCF<1), a **TF za Cu** je bio veći od 1 (TF>1).

BCF za Mn je na svim staništima tokom sezone bio manji od 1 (BCF<1), a **TF za Mn** je bio veći od 1 (TF>1).

BCF za Mo je na K3 bio veći od 1 (BCF>1), dok je na K2 i K_{Bk} bio manji od 1 (BCF<1). **TF za Mo** je na svim staništima bio veći od 1 (TF>1).

BCF za Se je uglavnom na svim staništima bio veći od 1 (BCF>1), izuzev na K3 u avgustu. **TF za Se** je na K3 bio veći od 1 (TF>1), dok je na K2 i K_{Bk} bio manji od 1.

BCF za Zn je na svim staništima bio manji od 1 (BCF<1). **TF za Zn** je na K3 bio manji od 1 (TF<1), dok je na K2 i K_{Bk} bio veći od 1 (Tabela 46).

Tabela 43. Biokoncentracioni faktor (BCF) i translokacioni faktor (TF) vrste *C. epigejos* na različitim staništima.

Parametar		**As**		**B**		**Cu**		**Mn**		**Mo**		**Se**		**Zn**	
		BCF	***TF***	***BCF***	***TF***	***BCF***	***TF***	***BCF***	***TF***	***BCF***	***TF***	***BCF***	***TF***	***BCF***	***TF***
Maj															
K3	M	0.426	0.759	0.075	14.750	0.071	1.287	0.031	2.169	0.435	3.960	1.133	1.264	0.377	0.438
	(SD)	(0.038)	(0.024)	(0.007)	(1.479)	(0.004)	(0.129)	(0.003)	(0.124)	(0.046)	(0.338)	(0.355)	(0.294)	(0.081)	(0.025)
K2	M	0.328	1.343	0.123	2.262	0.096	1.199	0.054	1.099	0.227	1.893	0.803	1.447	0.736	0.390
	(SD)	(0.015)	(0.151)	(0.026)	(0.465)	(0.007)	(0.168)	(0.009)	(0.279)	(0.008)	(0.592)	(0.348)	(0.925)	(0.188)	(0.127)
K_{Ko}	M	0.633	0.755	0.378	1.706	0.298	1.455	0.038	1.485	0.597	1.327	13.072	0.479	0.216	0.920
	(SD)	(0.053)	(0.085)	(0.078)	(0.446)	(0.028)	(0.150)	(0.003)	(0.155)	(0.056)	(0.095)	(10.787)	(0.174)	(0.028)	(0.072)
Jul															
K3	M	0.261	1.269	0.055	18.559	0.062	1.990	0.018	5.182	0.571	3.197	1.471	1.190	0.367	0.456
	(SD)	(0.067)	(0.261)	(0.010)	(2.413)	(0.005)	(0.033)	(0.003)	(0.608)	(0.076)	(0.139)	(0.283)	(0.351)	(0.068)	(0.015)
K2	M	0.485	0.665	0.098	6.093	0.100	1.454	0.048	1.363	0.280	2.921	2.159	1.587	0.792	0.588
	(SD)	(0.020)	(0.071)	(0.021)	(1.230)	(0.013)	(0.150)	(0.008)	(0.155)	(0.034)	(0.228)	(0.778)	(0.381)	(0.135)	(0.039)
K_{Ko}	M	0.668	0.876	0.758	1.510	0.258	0.845	0.030	1.325	0.703	1.386	12.784	0.588	0.229	0.784
	(SD)	(0.040)	(0.061)	(0.135)	(0.263)	(0.004)	(0.026)	(0.003)	(0.190)	(0.085)	(0.170)	(10.519)	(0.112)	(0.016)	(0.044)
Avgust															
K3	M	0.280	1.337	0.062	13.793	0.064	1.068	0.025	4.639	0.535	3.092	0.704	1.908	0.462	0.639
	(SD)	(0.051)	(0.092)	(0.005)	(0.795)	(0.004)	(0.072)	(0.002)	(0.238)	(0.062)	(0.206)	(0.240)	(1.072)	(0.048)	(0.090)
K2	M	0.472	1.297	0.093	4.089	0.088	2.361	0.139	1.211	0.303	2.738	1.441	1.287	0.473	0.667
	(SD)	(0.059)	(0.186)	(0.014)	(0.734)	(0.009)	(0.249)	(0.017)	(0.297)	(0.025)	(0.290)	(0.857)	(0.296)	(0.093)	(0.135)
K_{Ko}	M	0.580	1.071	4.591	1.452	0.356	0.929	0.061	1.256	0.741	2.240	3.851	0.648	0.213	0.652
	(SD)	(0.079)	(0.164)	(2.029)	(0.179)	(0.075)	(0.049)	(0.007)	(0.080)	(0.080)	(0.329)	(1.041)	(0.173)	(0.043)	(0.041)

M (SD), n = 5

Tabela 44. Biokoncentracioni faktor (BCF) i translokacioni faktor (TF) vrste *F. rubra* na različitim staništima.

Parametar		**As**		**B**		**Cu**		**Mn**		**Mo**		**Se**		**Zn**	
		BCF	***TF***	***BCF***	***TF***	***BCF***	***TF***	***BCF***	***TF***	***BCF***	***TF***	***BCF***	***TF***	***BCF***	***TF***
Maj															
K3	M	0.385	0.909	0.282	2.693	0.222	0.391	0.068	2.203	0.555	2.311	1.243	0.740	0.558	0.317
	(SD)	(0.047)	(0.133)	(0.032)	(0.349)	(0.017)	(0.036)	(0.004)	(0.065)	(0.075)	(0.324)	(0.438)	(0.125)	(0.106)	(0.013)
K2	M	0.410	0.713	0.177	2.476	0.228	0.448	0.079	0.589	0.448	1.929	0.984	0.604	0.745	0.466
	(SD)	(0.035)	(0.094)	(0.010)	(0.147)	(0.008)	(0.027)	(0.008)	(0.035)	(0.044)	(0.151)	(0.234)	(0.128)	(0.060)	(0.030)
K_{Bb}	M	0.415	0.825	0.718	0.602	0.141	2.203	0.040	2.100	0.763	0.800	16.891	0.776	0.360	0.520
	(SD)	(0.044)	(0.049)	(0.101)	(0.040)	(0.001)	(0.058)	(0.0009)	(0.023)	(0.105)	(0.074)	(10.819)	(0.066)	(0.006)	(0.049)
Jul															
K3	M	0.435	0.709	0.254	6.263	0.195	0.770	0.075	2.329	0.718	2.405	2.232	0.674	0.436	0.663
	(SD)	(0.061)	(0.036)	(0.033)	(0.270)	(0.025)	(0.036)	(0.005)	(0.118)	(0.116)	(0.242)	(0.309)	(0.116)	(0.030)	(0.102)
K2	M	0.489	0.781	0.285	3.632	0.241	0.841	0.116	0.778	0.481	2.741	2.916	0.634	1.300	0.579
	(SD)	(0.053)	(0.132)	(0.010)	(0.254)	(0.019)	(0.039)	(0.007)	(0.072	(0.047)	(0.294)	(0.533)	(0.113)	(0.138)	(0.025)
K_{Bb}	M	0.471	0.817	1.120	0.609	0.236	1.131	0.042	1.276	0.719	0.953	3.919	0.842	0.438	0.633
	(SD)	(0.043)	(0.040)	(0.108)	(0.038)	(0.011)	(0.042)	(0.006)	(0.026)	(0.061)	(0.065)	(0.651)	(0.100)	(0.017)	(0.030)
Avgust															
K3	M	0.433	0.852	0.179	6.055	0.154	0.504	0.103	1.448	0.622	1.845	1.287	0.624	0.510	0.753
	(SD)	(0.098)	(0.133)	(0.009)	(0.673)	(0.007)	(0.023)	(0.005)	(0.118)	(0.070)	(0.150)	(0.383)	(0.217)	(0.106)	(0.143)
K2	M	0.703	0.780	0.183	3.809	0.199	0.375	0.126	0.760	0.587	1.962	2.691	0.445	0.874	0.466
	(SD)	(0.066)	(0.118)	(0.019)	(0.351)	(0.014)	(0.079)	(0.005)	(0.069)	(0.045)	(0.196)	(1.357)	(0.088)	(0.099)	(0.044)
K_{Bb}	M	0.693	0.893	4.080	0.298	0.143	1.066	0.050	1.827	0.883	0.864	7.421	1.088	0.428	0.657
	(SD)	(0.034)	(0.113)	(0.966)	(0.038)	(0.013)	(0.107)	(0.002)	(0.253)	(0.055)	(0.107)	(1.657)	(0.651)	(0.021)	(0.064)

M (SD), n = 5

Tabela 45. Biokoncentracioni faktor (BCF) i translokacioni faktor (TF) vrste *D. glomerata* na različitim staništima.

Parametar		**As**		**B**		**Cu**		**Mn**		**Mo**		**Se**		**Zn**	
		BCF	***TF***	***BCF***	***TF***	***BCF***	***TF***	***BCF***	***TF***	***BCF***	***TF***	***BCF***	***TF***	***BCF***	***TF***
Maj															
K3	M	0.807	0.465	0.458	2.644	0.230	0.438	0.088	0.789	0.514	4.888	2.540	2.610	0.421	0.552
	(SD)	(0.084)	(0.020)	(0.049)	(0.279)	(0.018)	(0.025)	(0.007)	(0.044)	(0.066)	(0.523)	(0.915)	(0.190)	(0.082)	(0.038)
$\mathbf{K_{Ko}}$	M	0.631	0.772	1.189	0.545	0.479	1.432	0.054	3.178	0.640	3.334	13.795	0.440	0.320	1.297
	(SD)	(0.094)	(0.111)	(0.120)	(0.047)	(0.016)	(0.098)	(0.003)	(0.303)	(0.085)	(0.298)	(9.518)	(0.199)	(0.044)	(0.032)
Jul															
K3	M	0.362	0.898	0.279	6.292	0.186	0.770	0.082	0.521	0.646	15.712	2.318	0.778	0.443	0.606
	(SD)	(0.066)	(0.107)	(0.019)	(0.616)	(0.012)	(0.062)	(0.007)	(0.056)	(0.103)	(1.580)	(0.472)	(0.155)	(0.060)	(0.037)
$\mathbf{K_{Ko}}$	M	0.586	0.814	1.422	0.773	0.301	1.907	0.040	4.830	0.591	4.065	9.213	1.053	0.332	1.062
	(SD)	(0.096)	(0.164)	(0.388)	(0.213)	(0.052)	(0.316)	(0.005)	(0.675)	(0.017)	(0.096)	(8.483)	(0.461)	(0.011)	(0.065)
Avgust															
K3	M	0.462	0.815	0.242	2.795	0.188	0.424	0.107	0.813	0.591	2.759	1.342	0.836	0.498	0.609
	(SD)	(0.079)	(0.044)	(0.017)	(0.198)	(0.011)	(0.049)	(0.010)	(0.059)	(0.061)	(0.351)	(0.469)	(0.146)	(0.065)	(0.019)
$\mathbf{K_{Ko}}$	M	0.634	0.731	4.401	0.949	0.394	1.213	0.032	4.594	0.738	3.075	4.080	0.674	0.227	0.950
	(SD)	(0.045)	(0.085)	(2.126)	(0.072)	(0.078)	(0.021)	(0.004)	(0.168)	(0.099)	(0.231)	(1.663)	(0.035)	(0.036)	(0.058)

M (SD), n = 5

Tabela 46. Biokoncentracioni faktor (BCF) i translokacioni faktor (TF) vrste *O. biennis* na različitim staništima.

Parametar		**As**		**B**		**Cu**		**Mn**		**Mo**		**Se**		**Zn**	
		BCF	***TF***	***BCF***	***TF***	***BCF***	***TF***	***BCF***	***TF***	***BCF***	***TF***	***BCF***	***TF***	***BCF***	***TF***
Maj															
K3	M	0.388	1.071	0.567	4.772	0.073	2.074	0.038	4.010	1.055	2.537	1.139	1.710	0.539	0.664
	(SD)	(0.040)	(0.240)	(0.026)	(0.110)	(0.001)	(0.181)	(0.003)	(0.222)	(0.080)	(0.093)	(0.640)	(0.643)	(0.089)	(0.033)
K2	M	0.307	1.116	0.579	6.887	0.095	3.157	0.450	1.598	0.496	1.564	1.214	0.780	0.613	1.511
	(SD)	(0.026)	(0.058)	(0.025)	(0.090)	(0.016)	(0.503)	(0.003)	(0.075)	(0.141)	(0.409)	(0.193)	(0.144)	(0.028)	(0.063)
K_{Bk}	M	0.659	0.649	2.00	4.452	0.187	1.443	0.026	2.884	0.375	1.467	10.836	0.468	0.268	1.732
	(SD)	(0.094)	(0.122)	(0.359)	(0.411)	(0.013)	(0.153)	(0.003)	(0.232)	(0.038)	(0.199)	(9.856)	(0.213)	(0.018)	(0.124)
Jul															
K3	M	0.239	1.845	0.521	15.768	0.069	1.954	0.033	2.526	1.083	2.567	1.696	2.407	0.559	0.574
	(SD)	(0.063)	(0.336)	(0.102)	(1.161)	(0.012)	(0.153)	(0.003)	(0.112)	(0.095)	(0.164)	(0.586)	(1.245)	(0.123)	(0.019)
K2	M	0.304	1.294	0.792	4.178	0.094	1.911	0.047	3.565	0.465	1.769	1.990	0.957	0.790	1.639
	(SD)	(0.040)	(0.470)	(0.006)	(0.103)	(0.013)	(0.220)	(0.005)	(0.622)	(0.042)	(0.120)	(0.655)	(0.370)	(0.089)	(0.105)
K_{Bk}	M	0.618	0.695	1.674	4.014	0.197	1.447	0.018	5.812	0.302	1.240	6.107	0.748	0.242	1.604
	(SD)	(0.093)	(0.180)	(0.568)	(0.339)	(0.009)	(0.032)	(0.001)	(0.388)	(0.038)	(0.251)	(0.325)	(0.162)	(0.019)	(0.141)
Avgust															
K3	M	0.242	1.639	0.413	6.822	0.066	1.069	0.030	3.775	1.186	2.424	0.997	1.693	0.637	0.708
	(SD)	(0.061)	(0.253)	(0.016)	(0.256)	(0.008)	(0.210)	(0.002)	(0.122)	(0.220)	(0.537)	(0.256)	(0.554)	(0.077)	(0.300)
K2	M	0.430	1.593	0.434	19.602	0.101	0.980	0.040	5.209	0.460	3.661	1.495	0.997	0.581	1.609
	(SD)	(0.047)	(0.174)	(0.042)	(1.345)	(0.006)	(0.099)	(0.003)	(0.407)	(0.011)	(0.064)	(0.756)	(0.383)	(0.072)	(0.023)
K_{Bk}	M	0.707	0.944	1.421	4.810	0.192	1.289	0.016	7.369	0.380	1.365	3.037	0.534	0.253	2.018
	(SD)	(0.047)	(0.127)	(0.180)	(0.401)	(0.032)	(0.156)	(0.001)	(0.613)	(0.074)	(0.254)	(0.160)	(0.083)	(0.023)	(0.180)

M(SD), n=5

5.4.4. Prosečan godišnji sadržaj hemijskih elemenata u korenu i listovima, BCF i TF ispitivanih biljaka

Koncentracije As u korenu i listovima ispitivanih vrsta na deponiji pepela su bile veće ili jednake (u slučaju korena *O. biennis*) u odnosu na iste sa kontrolnih staništa (Slika 63 A). U listovima ispitivanih vrsta na kontrolnim staništima sadržaj As je bio iznad opsega normalnih koncentracija (1.0 -1.7 μg/g, Kabata – Pendias and Pendias, 2001), dok je kod biljaka na deponiji pepela u opsegu toksičnih (5.0 – 20.0 μg/g, Kabata – Pendias and Pendias, 2001) (Slika 63 A). BCF za As je kod svih ispitivanih vrsta biljaka na svim staništima bio manji od 1. Na kontrolnim staništima TF je kod svih vrsta bio manji od 1. Na deponiji pepela, TF je kod *C. epigejos* i *O. biennis* bio veći od 1, a kod *F. rubra* i *D. glomerata* manji od 1 (Slika 63 A). Na kontrolnim staništima najveću koncentraciju As u listovima imale su *C. epigejos* i *F. rubra*, na K3 *O. biennis*, dok je na K2 slična kod svih ispitivanih vrsta (Slika 63 B).

Koncentracija B u korenu *D. glomerata* i *O. biennis* na deponiji pepela je bila veća nego na kontrolnim staništima (Slika 64 A). Kod *C. epigejos* sadržaj B u korenu je bio veći samo na K2, a kod *F. rubra* samo na K3 u odnosu na kontrolno stanište (Slika 64 A). Koncentracija B u listovima *F. rubra* i *D. glomerata* na K3, a kod *O. biennis* na obe kasete je bila u opsegu toksičnih koncentracija za biljke (50.0 – 200.0 μg/g, Kabata – Pendias and Pendias, 2001). Koncentracije B u listovima *C. epigejos*, *F. rubra* i *D. glomerata* na kontrolnim staništima su opsegu deficita ovog elementa za biljke (5.0 – 30.0 μg/g, Kabata – Pendias and Pendias, 2001). BCF je kod svih ispitivanih vrsta na deponiji pepela bio manji od 1, dok je na kontrolnim staništima bio veći od 1. TF je kod svih vrsta na deponiji pepela bio veći od 1, dok je na kontrolnim staništima kod *C. epigejos* i *O. biennis* veći od 1, a kod *F. rubra* i *D. glomerata* manji od 1 (Slika 64 A). Na kontrolnim staništima, sadržaj B u korenu je bio najveći kod *F. rubra* i *O. biennis*, a na deponiji pepela kod *O. biennis* (Slika 64 B).

Sadržaj Cu u korenu *C. epigejos* i *O. biennis* je na deponiji pepela bio manji, a kod *F. rubra* i *D. glomerata* veći u odnosu na kontrolna staništa (Slika 65 A). Koncentracije Cu u listovima biljaka sa deponije pepela su bile manje nego na kontrolnim staništima, osim kod *O. biennis* (Slika 65 A). Na kontrolim staništima koncentracije Cu u listovima biljaka su bile u okviru prosečnih, dok su na deponiji pepela bile na granici sa

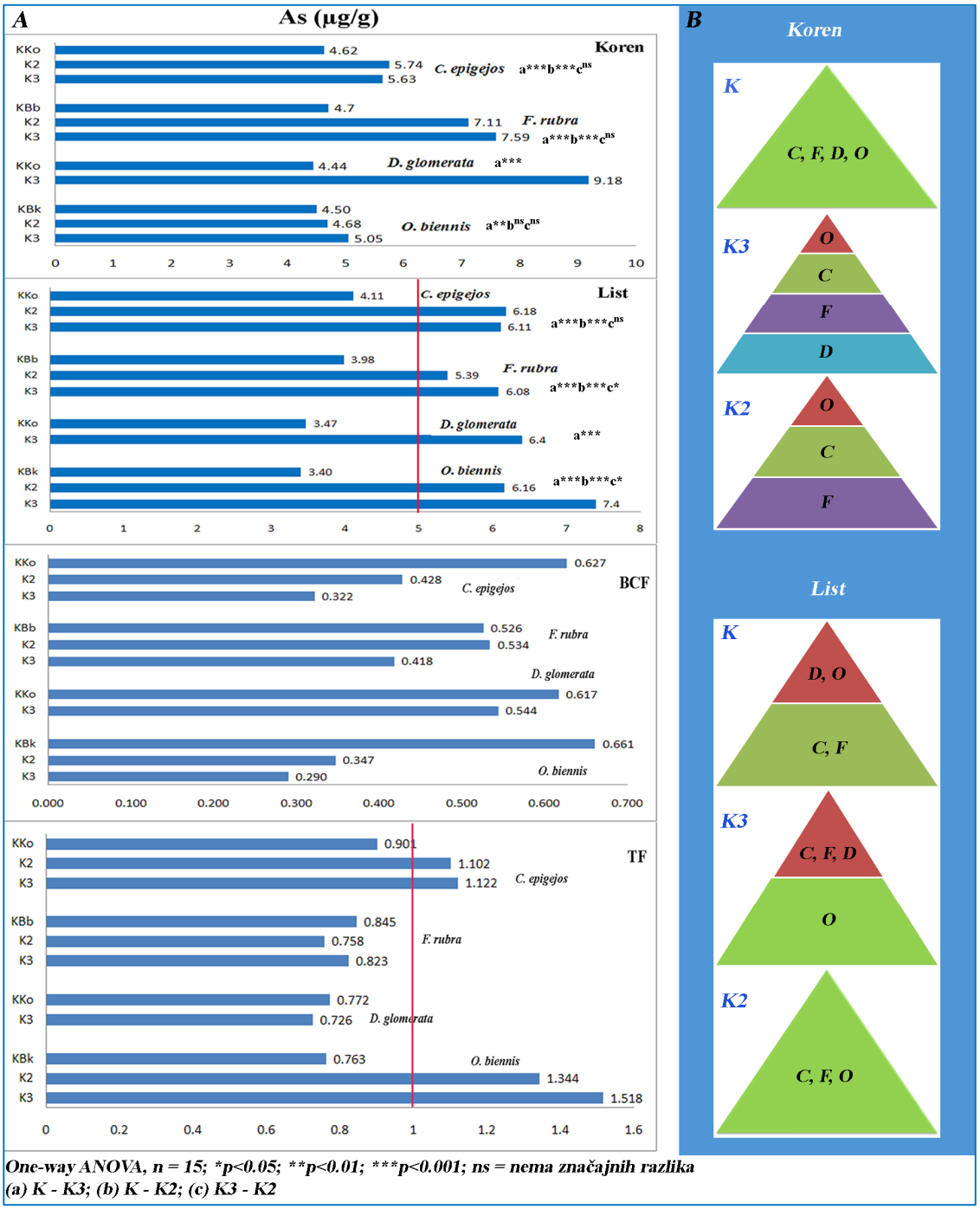
prosečnim vrednostima, izuzev kod *O. biennis* (5.0 – 30.0 μg/g, Kabata – Pendias and Pendias, 2001) (Slika 65 A). BCF je kod *C. epigejos*, *F. rubra D. glomerata* i *O. biennis* na kontrolnim staništima i deponiji pepela bio manji od 1. TF je kod svih ispitivanih biljaka na kontrolnim staništima bio veći od 1. Kod *C. epigejos* i *O. biennis* na deponiji pepela je bio veći od 1, dok je kod *F. rubra* i *D. glomerata* manji od 1 (Slika 65 B). Na kontrolnom staništu i K3, najveće koncentracije Cu su u korenu bile kod *F. rubra* i *D. glomerata,* dok je na K2 najveća koncentracija bila kod *F. rubra*. Na kontrolnom staništu najveća koncentracija Cu u listovima je bila kod *F. rubra* i *D. glomerata*, a na deponiji pepela kod *O. biennis* (Slika 65 B).

Koncentracija Mn u korenu ispitivanih biljaka na deponiji pepela je bila manja u odnosu na kontrolna staništa, osim kod *D. glomerata* (Slika 66 A). Koncentracija Mn u listovima biljaka sa kontrolnog staništa je bila u okviru prosečnih koncentracija, dok je kod vrsta na deponiji pepela ispod normalnih, izuzev kod *F. rubra* na K3 (30.0 – 300.0 μg/g, Kabata – Pendias and Pendias, 2001) (Slika 66 A). BCF je kod svih vrsta na svakom staništu bio manji od 1. TF faktor je kod svih vrsta na kontrolnom staništu bio veći od 1. Na deponiji pepela kod *C. epigejos*, *O. biennis* i *F. rubra* (K3) TF je bio veći od 1, a kod *F. rubra* (K2) i *D. glomerata* manji od 1 (Slika 66 A). Na kontrolnom staništu sadržaj Mn u korenu je bio najveći kod *C. epigejos, F. rubra* i *D. glomerata*, na K3 kod *D. glomerata*, a na K2 najveći kod *F. rubra*. Na kontrolnim staništima, najveća koncentracija Mn u listovima je bila kod *D. glomerata*, na K3 kod *F. rubra*, a na K2 kod *O. biennis* (Slika 66 B).

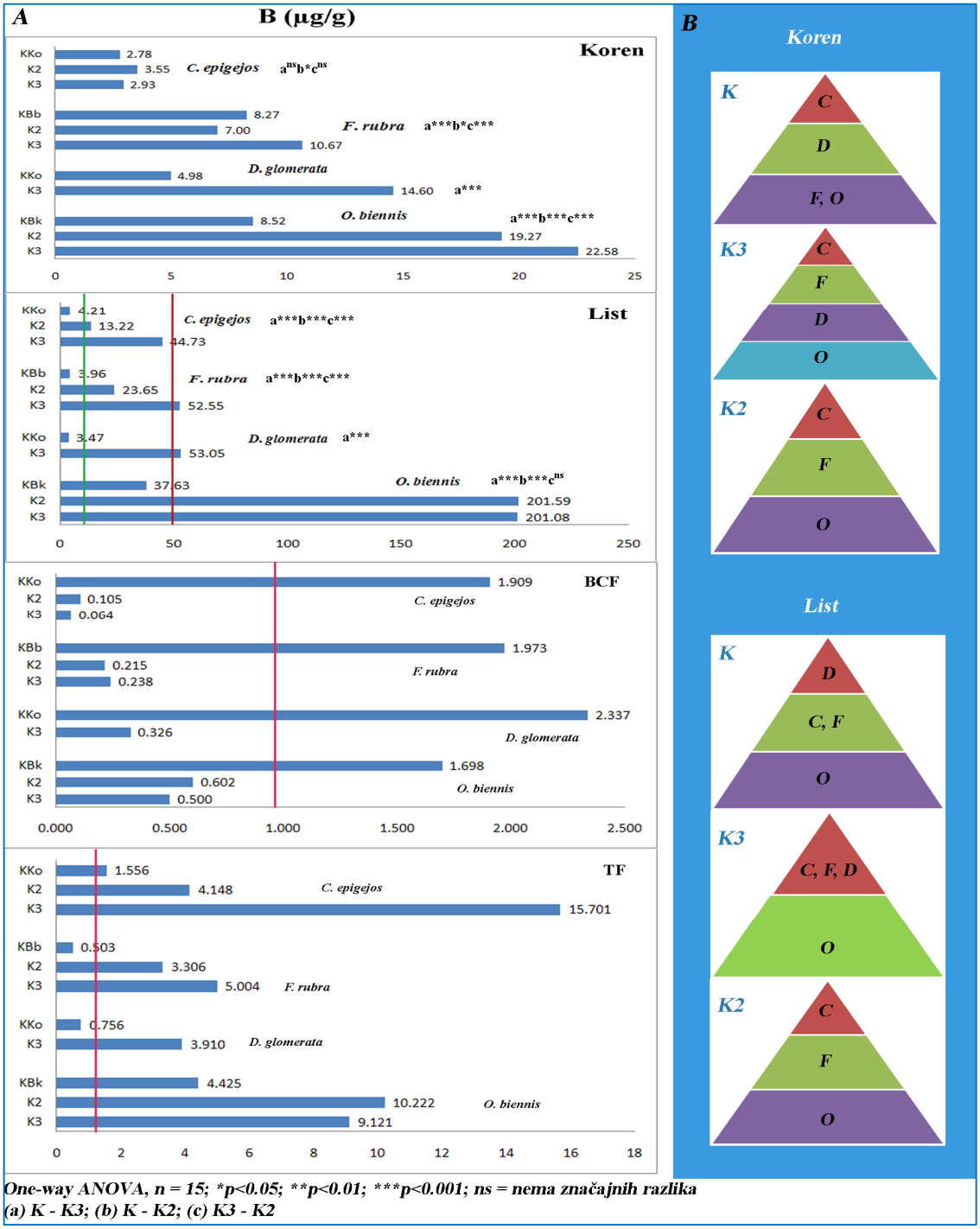
Koncentracija Mo u korenu biljaka na deponiji pepela je bila veća u odnosu na kontrolno stanište, izuzev kod *F. rubra* (K3) i *C. epigejos* (Slika 67 A). Koncentracije Mo u listovima biljaka sa deponije pepela su bile veće u odnosu na kontrolna staništa (Slika 67 A). Sadržaj Mo u listovima biljaka na svim ispitivanim staništima je bio u okviru prosečnih (0.2 – 5.0 μg/g, Kabata – Pendias and Pendias, 2001) (Slika 67 A). BCF je kod svih vrsta bio manji od 1, osim kod *O. biennis* na K3. TF je kod svih ispitivanih biljaka bio veći od 1, izuzev kod *F. rubra* na K_{Bb} (Slika 67 A). Najveća koncentracija Mo u korenu je bila kod *F. rubra* na kontrolnom staništu, na K3 kod *O. biennis*, a na K2 kod *F. rubra* i *O. biennis*. Najveću koncentraciju Mo u listovima imala je *D. glomerata* na kontrolnom staništu, *O. biennis* na K3, a *F. rubra* i *O. biennis* na K2 (Slika 67 B).

Koncentracija Se u korenu *F. rubra* i *D. glomerata* je bila veća na deponiji pepela u odnosu na kontrolna staništa, dok je kod *C. epigejos* i *O. biennis* bila veća na K2 u odnosu na K_{Ko} i K_{Bk} (Slika 68 A). Koncentracije Se u listovima biljaka sa deponije pepela su bile veće u odnosu na kontrolna staništa (Slika 68 A). Sadržaj Se u listovima svih biljaka sa kontrolnih staništa i deponije pepela je bio u okviru normalnih koncentracija (0.01 – 2.0 μg/g, Kabata – Pendias and Pendias, 2001), dok je kod *O. biennis* na K3 bio na granici toksičnosti (5.0 – 30.0 μg/g, Kabata – Pendias and Pendias, 2001) (Slika 68 A). BCF je kod ispitivanih biljaka na svim staništima bio veći od 1. TF kod biljaka na kontrolnim staništima je bio manji od 1. TF kod *C. epigejos*, *D. glomerata* i *O. biennis* na K3 je bio veći od 1, dok je kod *F. rubra* i *O. biennis* (K2) bio manji od 1 (Slika 68 A). Najveća koncentracija Se u korenu biljaka na kontrolnom staništu je bila kod *O. biennis*, na K3 kod *D. glomerata*, a na K2 kod *F. rubra*. Sadržaj Se u listovima je bio najveći kod *F. rubra* na kontrolnom staništu, na K3 kod *O. biennis*, a na K2 kod *C. epigejos* (Slika 68 B).

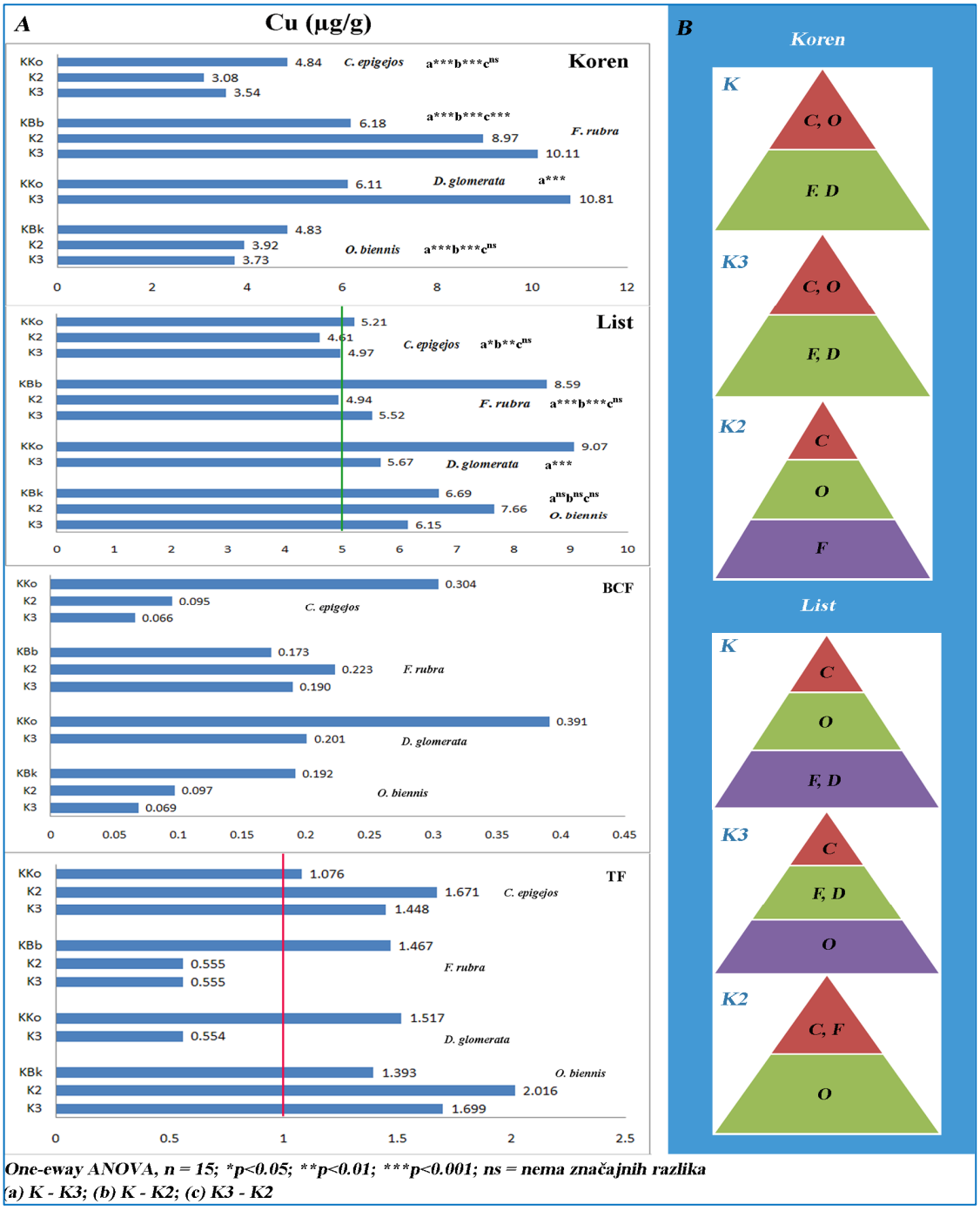
Koncentracija Zn u korenu *F. rubra* na deponiji pepela i *O. biennis* na K3 je bila veća u odnosu na kontrolna staništa, dok je kod *C. epigejos*, *D. glomerata* i *O. biennis* (K2) bila slična (Slika 69 A). Koncentracije Zn u listovima svih biljaka na deponiji pepela su bile manje u odnosu na kontrolna staništa (Slika 69 A). Sadržaj Zn u listovima je bio u opsegu deficita (< 20 μg/g, Kabata – Pendias and Pendias, 2001) ili na donjoj granici prosečnih koncentracija za biljke (27.0 – 150 μg/g, Kabata – Pendias and Pendias, 2001) (Slika 69 A). BF je kod svih vrsta na svakom ispitivanom staništu bio manji od 1. TF je kod *C. epigejos* i *F. rubra* na kontrolnom staništu bio manji od 1, dok je kod *D. glomerata* i *O. biennis* bio veći od 1 (Slika 69 A). TF je kod svih vrsta na deponiji pepela je bio manji od 1, izuzev kod *O. biennis* na K2 (Slika 69 A). *F. rubra* na K_{Bb} i K3 ima najveću koncentraciju Zn u korenu, dok je na K2 imaju *F. rubra* i *O. biennis*. Na svim ispitivanim staništima *O. biennis* ima najveću koncentraciju Zn u listovima (Slika 69 B).



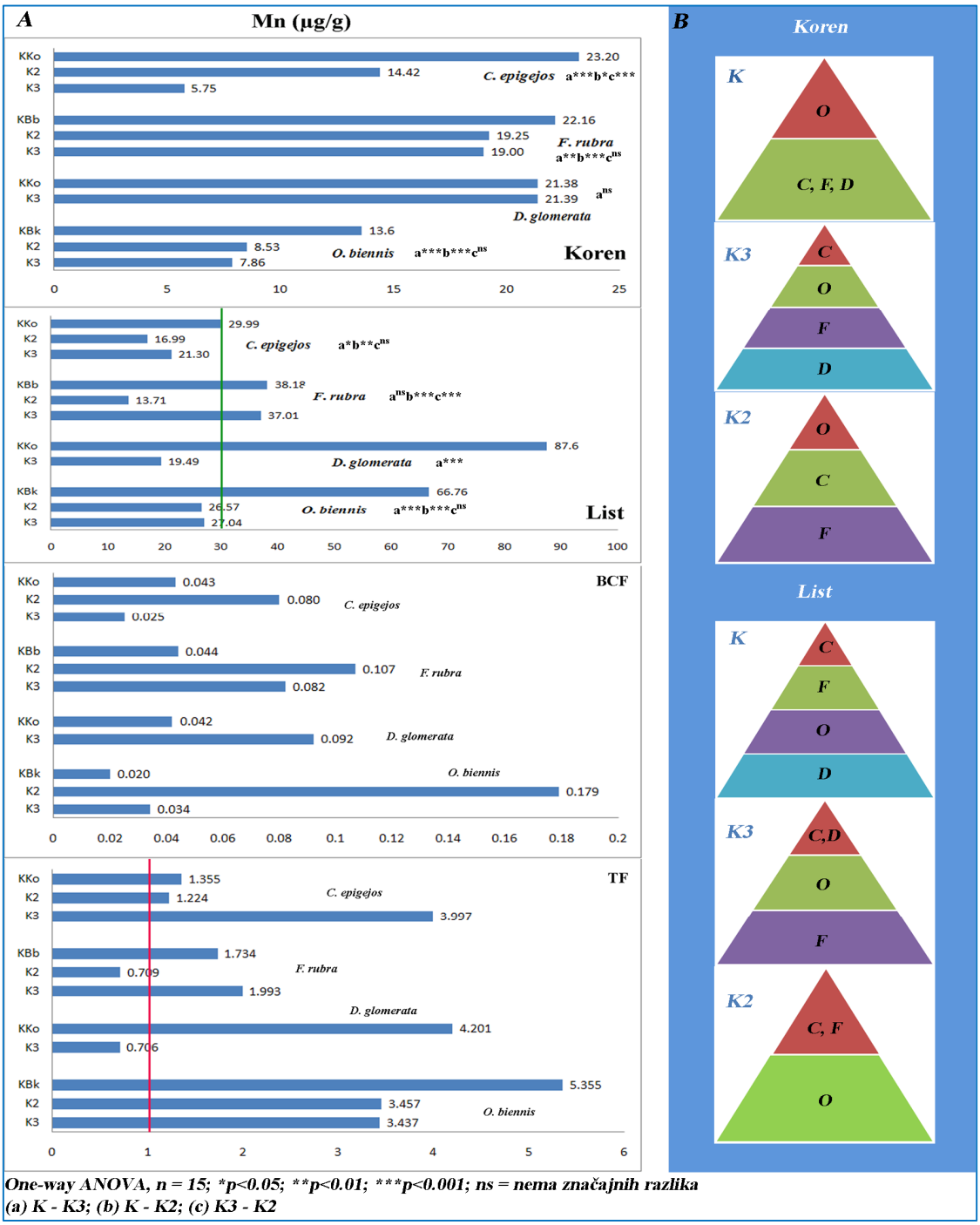
Slika 63. Prosečne godišnje koncentracije As u korenu i listu, BCF i TF kod *C. epigejos*, *F. rubra*, *D. glomerata* i *O. biennis* na kontrolnim staništima (K - K_{Ko}, K_{Bb} i K_{Bk}) i kasetama (K3 i K2) deponije pepela TENT-A u Obrenovcu (A); komparativna analiza biljaka na osnovu prosečne godišnje koncentracije As u korenu i listovima na kontrolnim staništima i deponiji pepela (K3 i K2). C – *C. epigejos*, F – *F. rubra*, D – *D. glomerata*, O – *O. biennis* (B).



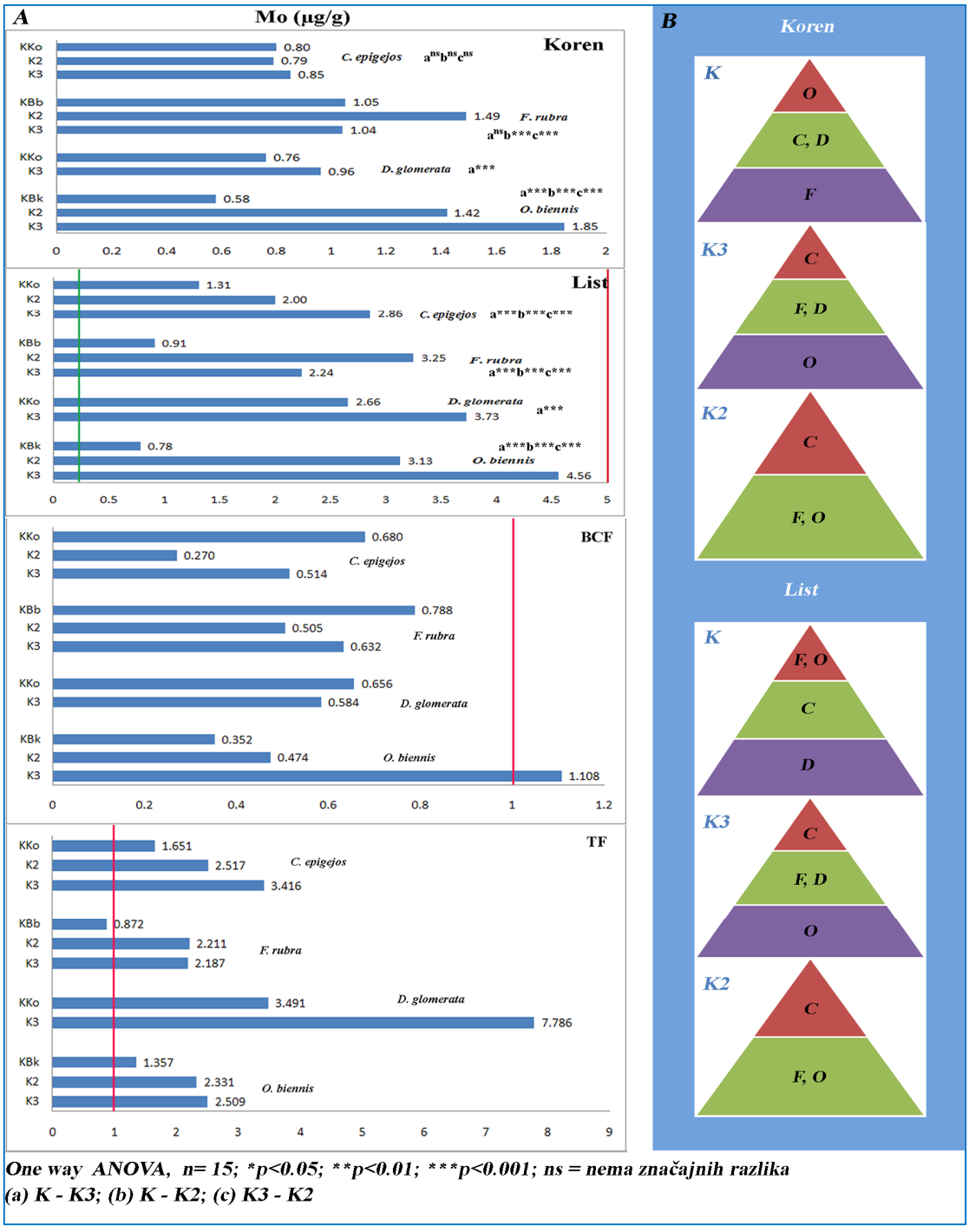
Slika 64. Prosečne godišnje koncentracije B u korenu i listu, BCF i TF kod *C. epigejos*, *F. rubra*, *D. glomerata* i *O. biennis* na kontrolnim staništima (K - K_{Ko}, K_{Bb} i K_{Bk}) i kasetama (K3 i K2) deponije pepela TENT-A u Obrenovcu (K3 i K2) (A); komparativna analiza biljaka na osnovu prosečne godišnje koncentracije B u korenu i listovima na kontrolnim staništima i deponiji pepela (K3 i K2). C – *C. epigejos*, F – *F. rubra*, D – *D. glomerata*, O – *O. biennis* (B).



Slika 65. Prosečne godišnje koncentracije Cu u korenu i listu, BCF i TF kod *C. epigejos*, *F. rubra*, *D. glomerata* i *O. biennis* na kontrolnim staništima (K - K_{Ko}, K_{Bb} i K_{Bk}) i kasetama (K3 i K2) deponije pepela TENT-A u Obrenovcu (A); komparativna analiza biljaka na osnovu prosečne godišnje koncentracije Cu u korenu i listovima na kontrolnim staništima i deponiji pepela (K3 i K2). C – *C. epigejos*, F – *F. rubra*, D – *D. glomerata*, O – *O. biennis* (B).

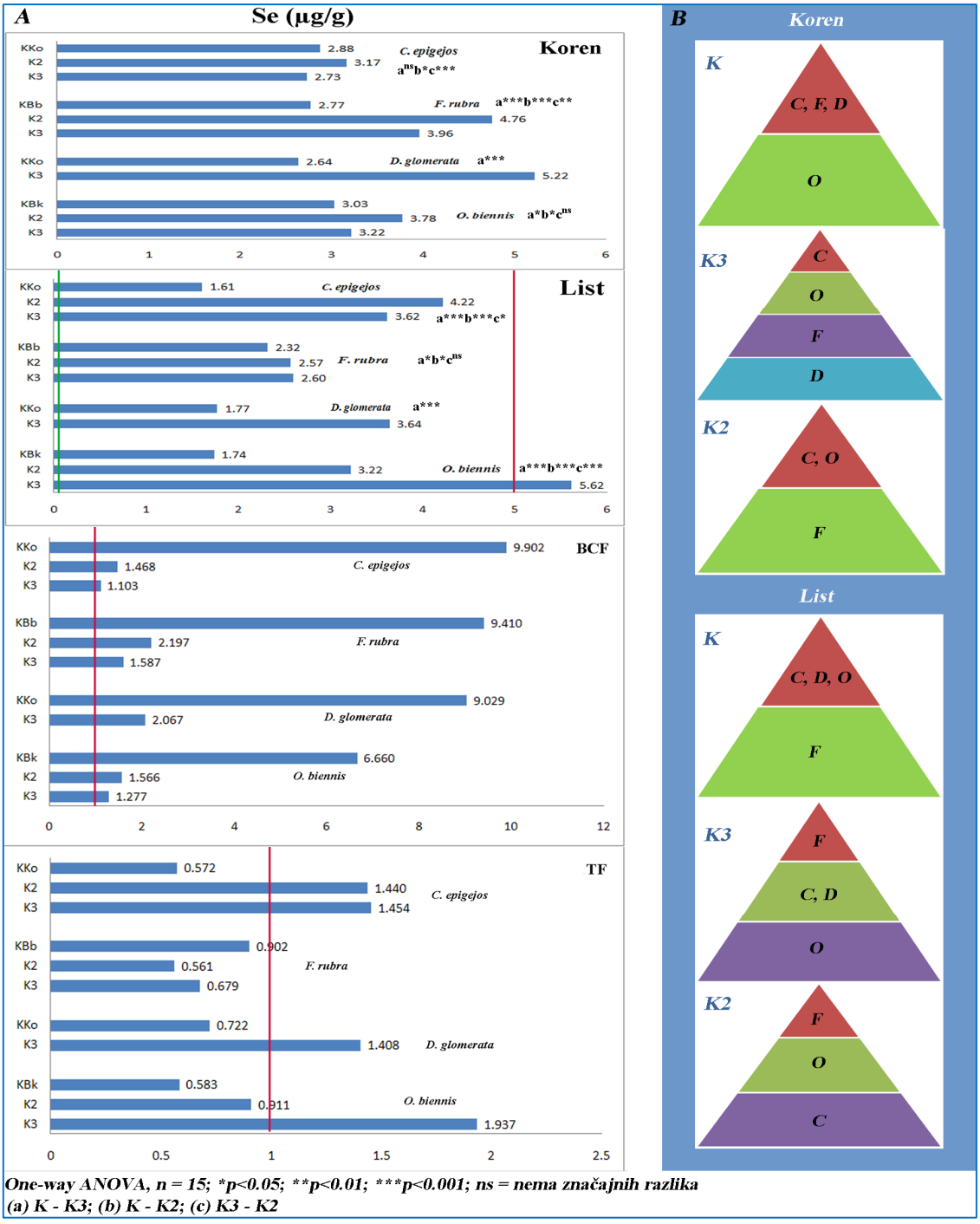


Slika 66. Prosečne godišnje koncentracije Mn u korenu i listu, BCF i TF kod *C. epigejos*, *F. rubra*, *D. glomerata* i *O. biennis* na kontrolnim staništima (K - K_{Ko}, K_{Bb} i K_{Bk}) i kasetama (K3 i K2) deponije pepela TENT-A u Obrenovcu (A); komparativna analiza biljaka na osnovu prosečne godišnje koncentracije Mn u korenu i listovima na kontrolnim staništima i deponiji pepela (K3 i K2). C – *C. epigejos*, F – *F. rubra*, D – *D. glomerata*, O – *O. biennis* (B).



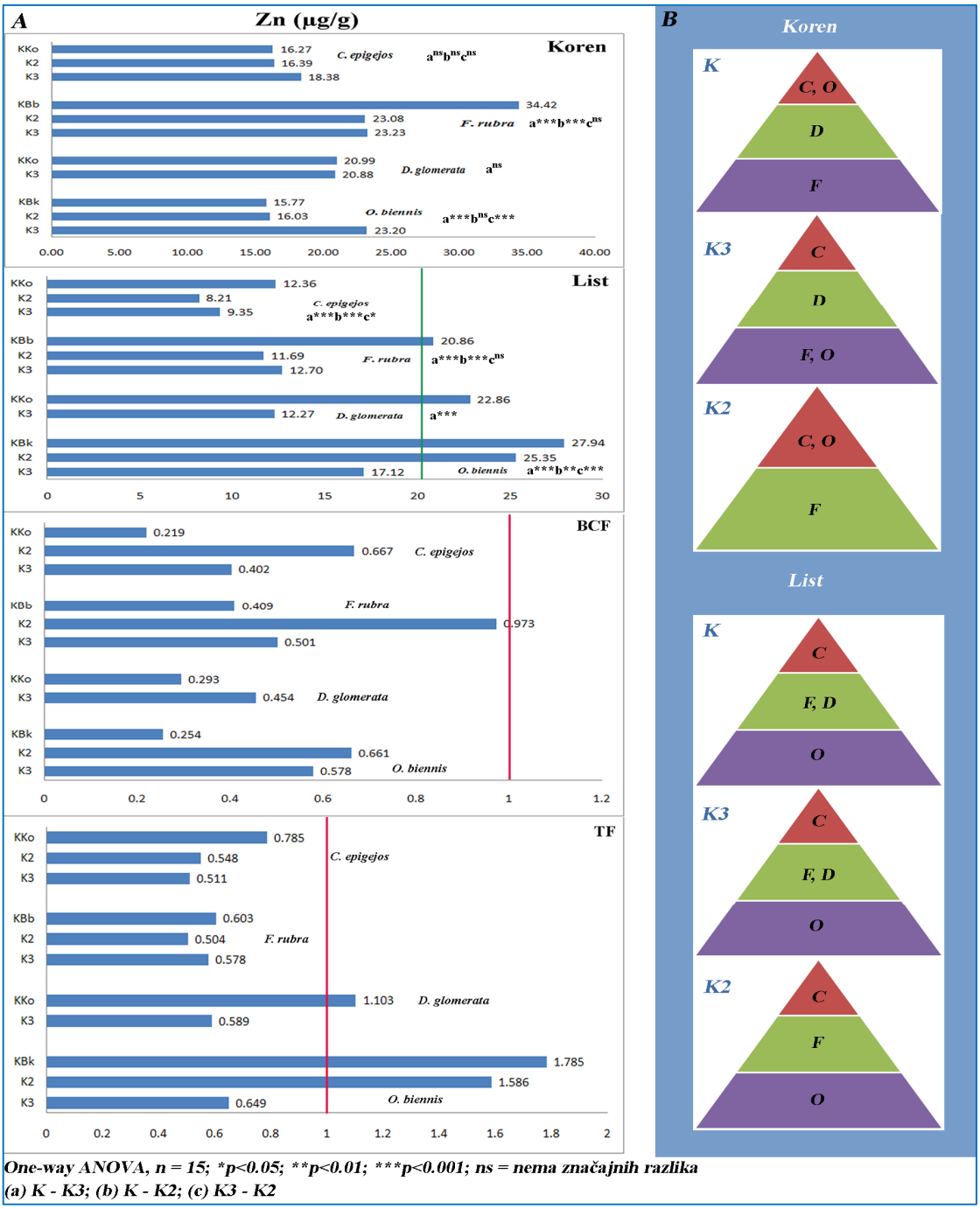
One way ANOVA, n= 15; *p<0.05; **p<0.01; ***p<0.001; ns = nema značajnih razlika
(a) K - K3; (b) K - K2; (c) K3 - K2

Slika 67. Prosečne godišnje koncentracije Mo u korenu i listu, BCF i TF kod *C. epigejos*, *F. rubra*, *D. glomerata* i *O. biennis* na kontrolnim staništima (K - K_{Ko}, K_{Bb} i K_{Bk}) i kasetama (K3 i K2) deponije pepela TENT-A u Obrenovcu (A); komparativna analiza biljaka na osnovu prosečne godišnje koncentracije Mo u korenu i listovima na kontrolnim staništima i deponiji pepela (K3 i K2). C – *C. epigejos*, F – *F. rubra*, D – *D. glomerata*, O – *O. biennis* (B).



*One-way ANOVA, n = 15; *p<0.05; **p<0.01; ***p<0.001; ns = nema značajnih razlika*
(a) K - K3; (b) K - K2; (c) K3 - K2

Slika 68. Prosečne godišnje koncentracije Se u korenu i listu, BCF i TF kod *C. epigejos*, *F. rubra*, *D. glomerata* i *O. biennis* na kontrolnim staništima (K - K_{Ko}, K_{Bb} i K_{Bk}) i kasetama (K3 i K2) deponije pepela TENT-A u Obrenovcu (A); komparativna analiza biljaka na osnovu prosečne godišnje koncentracije Se u korenu i listovima na kontrolnim staništima i deponiji pepela (K3 i K2). C – *C. epigejos*, F – *F. rubra*, D – *D. glomerata*, O – *O. biennis* (B).



Slika 69. Prosečne godišnje koncentracije Zn u korenu i listu, BCF i TF kod *C. epigejos*, *F. rubra*, *D. glomerata* i *O. biennis* na kontrolnim staništima (K - K_{Ko}, K_{Bb} i K_{Bk}) i kasetama (K3 i K2) deponije pepela TENT-A u Obrenovcu (A); komparativna analiza biljaka na osnovu prosečne godišnje koncentracije Zn u korenu i listovima na kontrolnim staništima i deponiji pepela (K3 i K2). C – *C. epigejos*, F – *F. rubra*, D – *D. glomerata*, O – *O. biennis* (B).

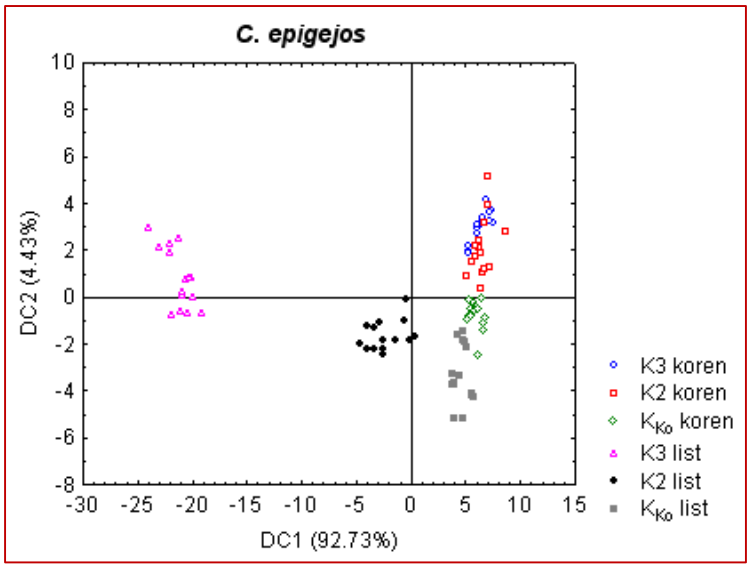
Na Slikama 70 i 71 su prikazani rezultati **kanonijske diskriminacione analize sadržaja hemijskih elemenata u korenu i listu na različitim staništima za vrstu *C. epigejos*.** Prema prvoj diskriminacionoj funkciji (DC1) koja objašnjava najveću varijabilnost od 92.73%, najizraženije je izdvajanje listova na K3 i K2 u odnosu na listove na K_{Ko} i korena na svim ispitivanim staništima. Razlikama najviše doprinose elementi, kao što su B i Cu. Prema drugoj diskriminacionoj funkciji (DC2) koja objašnjava varijansu od 4.43%, uočava se blago razdvajanje korena na K3 i K2, od korena i listova na K_{Ko} i na te razlike najviše utiče Zn.

Na Slikama 72 i 73 su prikazani rezultati kanonijske diskriminacione analize **sadržaja hemijskih elemenata u korenu i listu na različitim staništima za vrstu *F. rubra***. Rezultati pokazuju da se prema prvoj diskriminacionoj funkciji (DC1) koja iznosi 78.74% jasno razdvajaju listovi na K3 i K2 od listova na K_{Bb} i korena na svim staništima. Razlikama najviše pridonose hemijski elementi, kao što su Mo i B. Druga diskriminaciona funkcija (DC2) objašnjava 13.05% ukupne varijabilnosti, pri čemu se blago razdvaja koren na K3 i K2, i koren i listovi na $K_{Bb.}$ Međutim, najviše se razdvajaju listovi na K3 od korena na K3. Najveći doprinos razlikama između korena i listova kod *F. rubra* daje Mn.

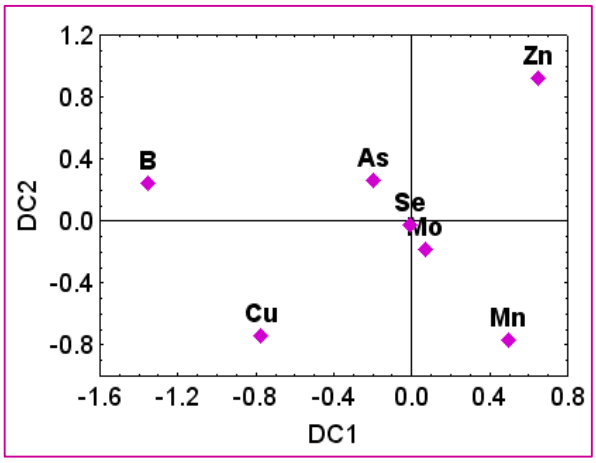
Na Slikama 74 i 75 su prikazani rezultati kanonijske diskriminacione analize **sadržaja hemijskih elemenata u korenu i listu na različitim staništima za vrstu *D. glomerata***. Kod ove vrste se jasno razdvaja koren od listova. Prema prvoj diskriminacionoj funkciji (DC1) koja iznosi 73.28% varijanse ispitivanih parametara, najviše se odvajaju listovi na K3 od listova na K_{Ko}. Najveći doprinos ovim razlikama daju elementi, kao što su Mo i B. Druga diskriminaciona funkcija (DC2) objašnjava 22.93% varijabilnosti i prema njoj veoma jasno se odvaja koren na K3 i K_{Ko} od listova na K3 i K_{Ko}. Najvažniji parametri za razdvajanje korena od listova su hemijski elementi, kao što su B i Mo.

Na Slikama 76 i 77 su prikazani rezultati kanonijske diskriminacione analize **sadržaja hemijskih elemenata u korenu i listu na različitim staništima za vrstu *O. biennis***. Prema prvoj diskriminacionog funkciji (DC1) koja objašnjava 57.35% variabilnosti, zapaža se jasno odvajanje listova na K3 od listova na K_{Bk}. Razlikama najviše pridonose Mo i B. Prema drugoj diskriminacionoj funkciji (DC2) koja iznosi

23.76%, najviše se razdvaja koren na K2 i K_{Bk} od listova na K3 i K2, a razlici između korena i listova najviše pridonosi Mo.

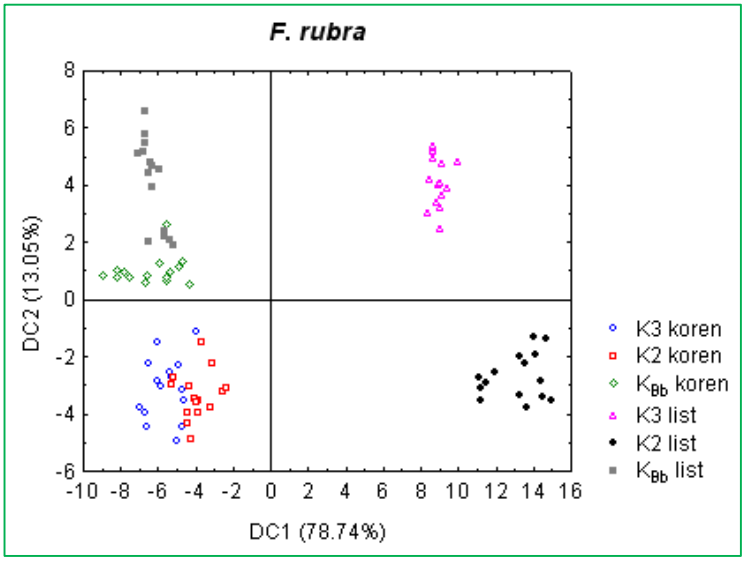


Slika 70. Kanonijska diskriminaciona analiza – grupisanje prema korenu i listovima na osnovu hemijskih elemenata kod vrste *C. epigejos* na različitim staništima.

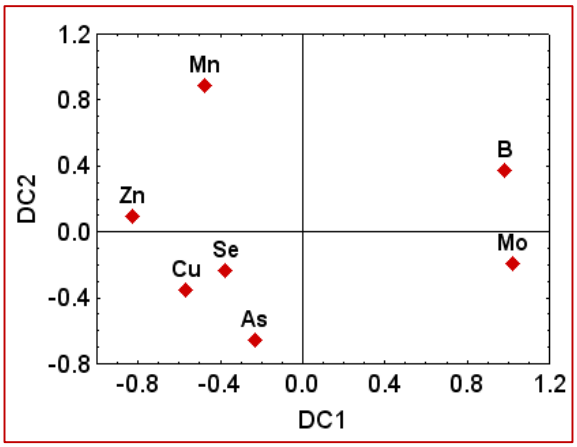


	Diskriminaciona funkcija 1 DC1	Diskriminaciona funkcija 2 DC2
As	-0.1973	0.255312
B	**-1.3498**	0.240316
Cu	**-0.7711**	-0.749077
Mn	0.4969	-0.771433
Mo	0.0711	-0.188108
Se	-0.0039	-0.032554
Zn	0.6541	**0.914634**
Eigen – vrednost	105.8287	5.063622
Kumulativni procenat	0.9273	0.971619

Slika 71. Standardizovani koeficijenti za kanonijske varijable; doprinos hemijskih elemenata varijabilnosti između korena i listova vrste *C. epigejos* na različitim staništima.

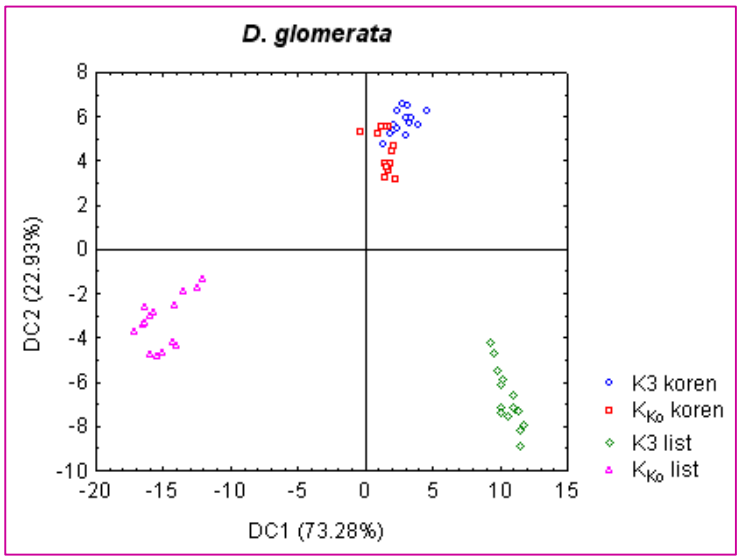


Slika 72. Kanonijska diskriminaciona analiza – grupisanje prema korenu i listovima na osnovu hemijskih elemenata kod vrste *F. rubra* na različitim staništima.

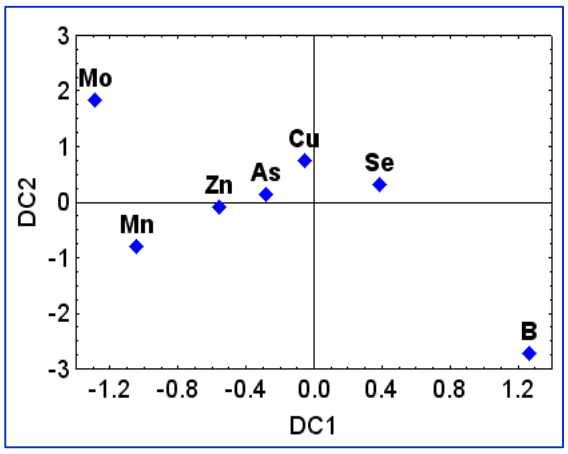


	Diskriminaciona funkcija 1 DC1	Diskriminaciona funkcija 2 DC2
As	-0.22998	-0.65734
B	**0.98793**	0.37307
Cu	-0.56275	-0.35389
Mn	-0.47107	**0.87992**
Mo	**1.02410**	-0.19631
Se	-0.37075	-0.24221
Zn	-0.82511	0.08686
Eigen – vrednost	67.65681	11.21491
Kumulativni procenat	0.78741	0.91793

Slika 73. Standardizovani koeficijenti za kanonijske varijable; doprinos hemijskih elemenata varijabilnosti između korena i listova vrste *F. rubra* na različitim staništima.

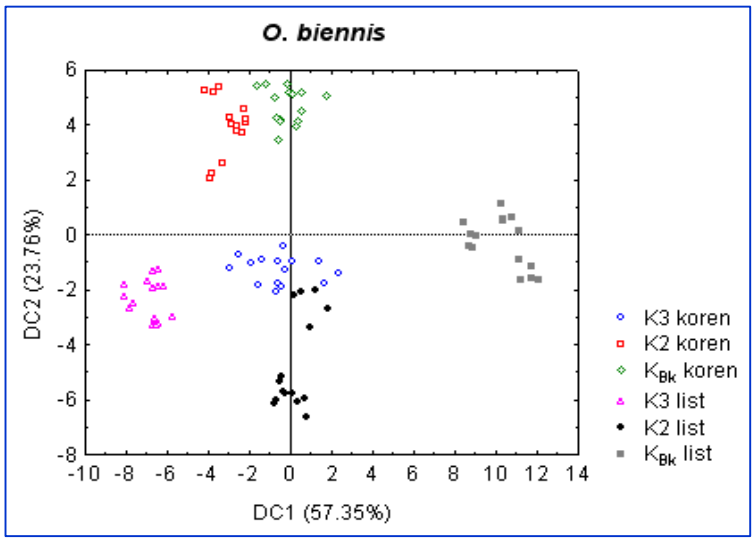


Slika 74. Kanonijska diskriminaciona analiza – grupisanje prema korenu i listovima na osnovu hemijskih elemenata kod vrste *D. glomerata* na različitim staništima.

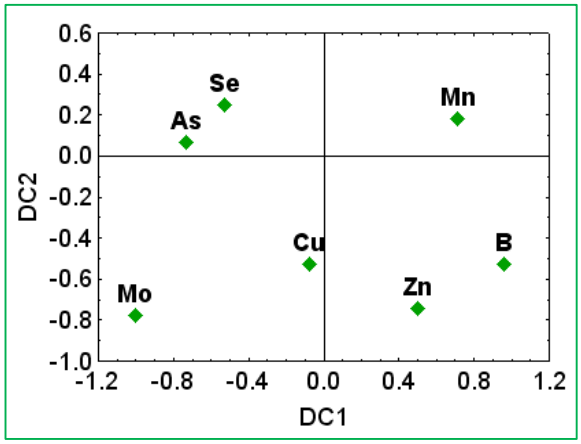


	Diskriminaciona funkcija 1 DC1	Diskriminaciona funkcija 2 DC2
As	-0.27592	0.13669
B	**1.27356**	**-2.74505**
Cu	-0.05331	0.73504
Mn	-1.04051	-0.80351
Mo	**-1.28252**	**1.81509**
Se	0.38809	0.29422
Zn	-0.55339	-0.08842
Eigen – vrednost	93.57677	29.27907
Kumulativni procenat	0.73278	0.96206

Slika 75. Standardizovani koeficijenti za kanonijske varijable; doprinos hemijskih elemenata varijabilnosti između korena i listova vrste *D. glomerata* na različitim staništima.



Slika 76. Kanonijska diskriminaciona analiza – grupisanje prema korenu i listovima na osnovu hemijskih elemenata kod vrste *O. biennis* na različitim staništima.



	Diskriminaciona funkcija 1 DC1	Diskriminaciona funkcija 2 DC2
As	-0.73080	0.06480
B	**0.96608**	-0.53039
Cu	-0.07488	-0.53290
Mn	0.71820	0.17751
Mo	**-1.00166**	**-0.78398**
Se	-0.52383	0.24409
Zn	0.50168	-0.74794
Eigen – vrednost	29.12148	12.06670
Kumulativni procenat	0.57351	0.81115

Slika 77. Standardizovani koeficijenti za kanonijske varijable; doprinos hemijskih elemenata varijabilnosti između korena i listova vrste *O. biennis* na različitim staništima.

5.5. KINETIKA FLUORESCENCIJE HLOROFILA I SADRŽAJ PIGMENATA U LISTOVIMA ISPITIVANIH BILJAKA

5.5.1. Sezonska dinamika kinetike fluorescencije hlorofila ispitivanih biljaka

C. epigejos

Dvofaktorska analiza varijanse parametara fluorescencije hlorofila (Fm, Fv, $t_{1/2}$, Fv/Fm i Fm/Fo) kod vrste *C. epigejos* je pokazala da na ove parametre značajno utiče stanište ($p<0.01$; $p<0.001$; $p<0.001$; $p<0.001$; $p<0.001$) i sezona ($p<0.001$; $p<0.001$; $p<0.001$; $p<0.001$; $p<0.001$), ali da je uticaj sezone veći. Na promenu parametra Fo sezona ima dominantan efekat ($p<0.001$) (Tabela 47).

Tabela 47. Uticaj staništa i sezone na varijabilnost parametara fluorescencije hlorofila kod vrste *C. epigejos*.

Parametar	**Stanište**		**Sezona**		**Stanište x Sezona**	
	F	**p**	**F**	**p**	**F**	**p**
Fo	2.665	ns	**12.369**	***	3.481	**
Fm	6.904	**	**18.275**	***	5.476	***
Fv	12.457	***	**22.544**	***	10.706	***
$t_{1/2}$	87.774	***	**120.684**	***	51.027	***
Fv/Fm	21.65	***	**51.75**	***	20.10	***
Fm/Fo	18.850	***	**36.347**	***	16.749	***

dvofaktorska ANOVA

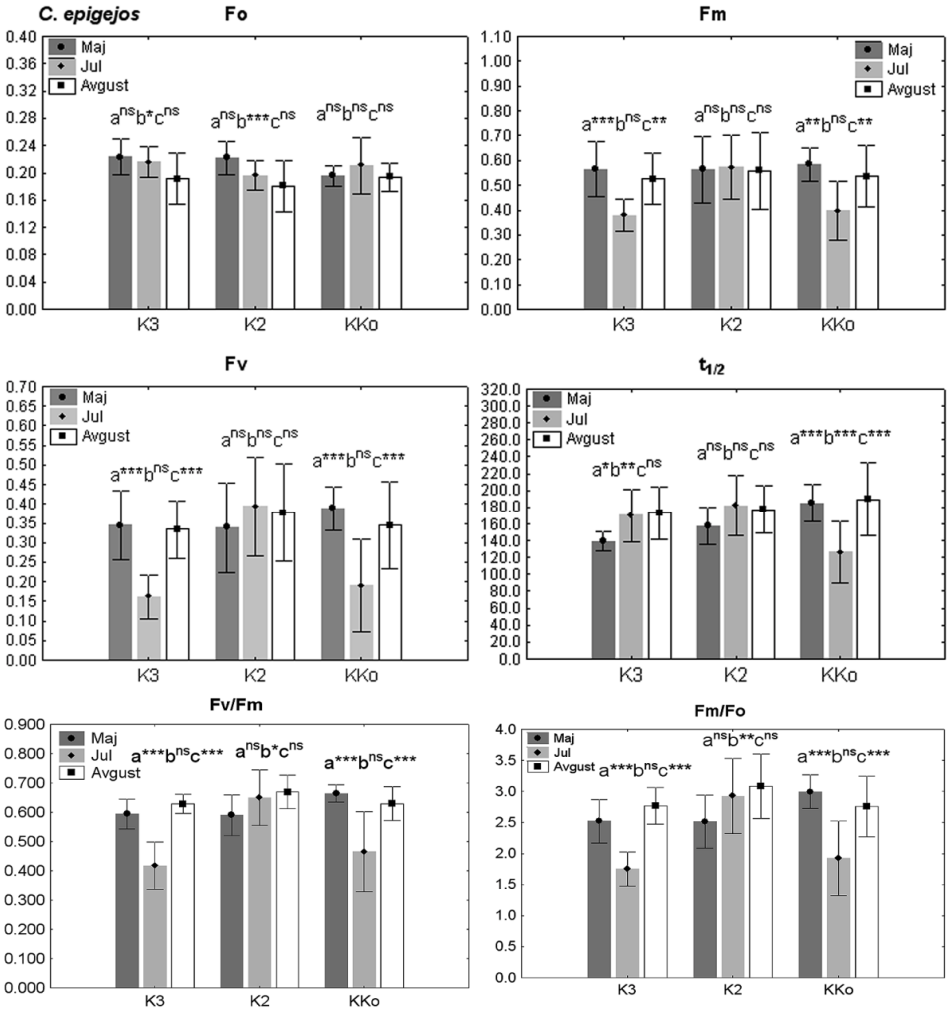
Kod *C. epigejos,* nisu bile utvrđene značajne razlike u vrednostima **Fo** između staništa. U maju i avgustu nisu bile zabeležene značajne razlike u vrednostima **Fm** i **Fv**, dok vrednosti ovih parametara u julu na K2 bile veće u odnosu na K_{Ko} ($p<0.001$; $p<0.001$). Takođe, samo su u julu vrednosti istih parametara na K2 bile veće u odnosu na K3 ($p<0.001$; $p<0.001$; $p<0.001$). Vrednosti **$t_{1/2}$** su na K3 i K2 u maju bile manje ($p<0.001$; $p<0.001$), u julu veće ($p<0.001$; $p<0.001$), a u avgustu slične vrednostima na K_{Ko}. Značajnih razlika u vrednostima $t_{1/2}$ između K3 i K2 nije bilo. Vrednosti **Fv/Fm** se nisu značajno razlikovale između staništa u maju i avgustu, dok su u julu na K3 bile manje ($p<0.001$), a na K2 veće ($p<0.001$) u odnosu na K_{Ko}. U julu su vrednosti Fv/Fm na K2 bile veće u odnosu na K3 ($p<0.001$). Vrednost **Fm/Fo** je u maju na K3 i K2 bila manja u odnosu na K_{Ko} ($p<0.05$; $p<0.05$), dok je u julu na K2 bila veća u odnosu na K_{Ko} ($p<0.001$). Odnos Fm/Fo je samo u julu na K2 bio veći u odnosu na K3 ($p<0.001$) (Tabela 48).

Tabela 48. Parametri fluorescencije hlorofila (Fo, Fm, Fv, $t_{1/2}$, Fv/Fm i Fm/Fo) kod *C. epigejos* na kasetama različite starosti (K3 i K2) deponije pepela TENT-A u Obrenovcu i kontrolnom staništu (K_{Ko}).

Parametar		Fo	Fm	Fv	$t_{1/2}$	Fv/Fm	Fm/Fo
Maj							
K3	M (SD) Min - Max	0.22 (0.025) $a^{ns}b^{ns}$ 0.19 – 0.27	0.56 (0.109) $a^{ns}b^{ns}$ 0.40 – 0.77	0.34 (0.090) $a^{ns}b^{ns}$ 0.23 – 0.51	132.4 (12.133) a^{ns} 125.0 – 167.0	0.594 (0.051) $a^{ns}b^{ns}c^{ns}$ 0.499 – 0.675	2.52 (0.351) a^{ns} 2.00 – 3.00
K2	M (SD) Min – Max	0.22 (0.025) c^{ns} 0.18 – 0.26	0.56 (0.134) c^{ns} 0.36 – 0.82	0.34 (0.116) c^{ns} 0.17 – 0.56	157.6 (22.274) 124.0 – 208.0	0.590 (0.070) 0.451 – 0.680	2.52 (0.426) 1.82 – 3.15
K_{Ko}	M (SD) Min - Max	0.19 (0.014) 0.18 – 0.22	0.59 (0.067) 0.49 – 0.70	0.39 (0.057) 0.30 – 0.50	185.0 (0.023) b***c*** 150.0 – 236.0	0.664 (0.030) 0.609 – 0.720	3.00 (0.267) b*c* 2.55 – 3.50
Jul							
K3	M (SD) Min - Max	0.21 (0.023) $a^{ns}b^{ns}$ 0.17 – 0.25	0.38 (0.066) b^{ns} 0.26 – 0.49	0.16 (0.058) b^{ns} 0.08 - 0.30	171.3 (32.069) a^{ns}b*** 124.0 – 249.0	0.416 (0.081) b*** 0.308 - 0.612	1.75 (0.275) b^{ns} 1.46 – 2.58
K2	M (SD) Min - Max	0.20 (0.022) c^{ns} 0.14 – 0.23	0.57 (0.128) a***c*** 0.31 – 0.76	0.39 (0.126) a***c*** 0.12 – 0.57	181.5 (35.960) c*** 69.0 – 236.0	0.650 (0.095) a***c*** 0.362 – 0.731	2.93 (0.601) a***c*** 1.55 – 3.74
K_{Ko}	M (SD) Min - Max	0.21 (0.041) 0.13 – 0.31	0.40 (0.119) 0.16 – 0.62	0.19 (0.117) 0.03 – 0.40	126.5 (36.741) 40.0 – 180.0	0.465 (0.138) 0.228 – 0.659	1.92 (0.601) 1.19 – 2.94
Avgust							
K3	M (SD) Min - Max	0.19 (0.038) $a^{ns}b^{ns}$ 0.12 – 0.26	0.53 (0.104) $a^{ns}b^{ns}$ 0.35 – 0.70	0.33 (0.074) $a^{ns}b^{ns}$ 0.21 – 0.45	173.3 (30.943) $a^{ns}b^{ns}$ 124.0 – 222.0	0.628 (0.033) $a^{ns}b^{ns}$ 0.548 – 0.684	2.77 (0.297) $a^{ns}b^{ns}$ 2.17 – 3.33
K2	M (SD) Min - Max	0.18 (0.038) c^{ns} 0.10 – 0.26	0.56 (0.154) c^{ns} 0.30 – 0.85	0.38 (0.126) c^{ns} 0.20 – 0.60	177.2 (27.852) c^{ns} 124.0 – 222.0	0.669 (0.058) c^{ns} 0.529 – 0.752	3.08 (0.519) c^{ns} 2.11 – 4.00
K_{Ko}	M (SD) Min - Max	0.19 (0.021) 0.15 – 0.23	0.52 (0.116) 0.34 – 0.75	0.33 (0.102) 0.19 – 0.54	191.0 (43.768) 139.0 – 291.0	0.630 (0.059) 0.537 – 0.730	2.76 (0.483) 2.15 – 3.70

dvofaktorska ANOVA, n=20, M (SD), Min – minimalne vrednosti, Max - maksimalne vrednosti; (a) K3-K2; (b) K3-K_{Ko}; (c) K2-K_{Ko}; * $p<0.05$; *** $p<0.001$, ns = nema značajnih razlika.

Tokom sezone, na K3 i K2 vrednost Fo je bila veća u maju u odnosu na avgust ($p<0.05$; $p<0.05$). Na K_{Ko} nije bilo značajnih razlika. Na K3 su parametri Fm, Fv, Fv/Fm i Fm/Fo u julu bile značajno manje u odnosu na maj ($p<0.001$; $p<0.001$; $p<0.001$; $p<0.001$) i avgust ($p<0.01$; $p<0.001$; $p<0.001$; $p<0.001$). Na K2 nije bilo značajnih razlika u vrednostima Fm i Fv dok su vrednosti Fv/Fm i Fm/Fo bile značajno manje u maju u odnosu na avgust ($p<0.05$; $p<0.01$). Na K_{Ko}, vrednosti Fm, Fv, Fv/Fm i Fm/Fo su u julu bile manje u odnosu na maj ($p<0.01$; $p<0.001$; $p<0.001$; $p<0.001$) i avgust ($p<0.01$; $p<0.001$; $p<0.001$; $p<0.001$). Na K3, vrednost $t_{1/2}$ u maju je bila manja u odnosu na jul ($p<0.05$) i avgust ($p<0.01$), dok na K2 nije bilo razlike (Slika 78).



Slika 78. Parametri fluorescencije hlorofila (Fo, Fm, Fv, Fv/Fm, Fv/Fm i Fm/Fo) kod vrste *C. epigejos* na različitim staništima tokom sezone. Poređenja su sledeća: (a) Maj - Jul; (b) Maj - Avgust; (c) Jul – Avgust (dvofaktorska ANOVA, n=20; * $p<0.05$; **$p<0.001$; ***$p<0.001$; ns = nema značajnih razlika).

F. rubra

Dvofaktorska analiza varijanse parametra Fm, Fv i Fv/Fm kod vrste *F. rubra* je pokazala da na ovaj parametar značajno utiče stanište ($p<0.001$; $p<0.001$; $p<0.001$) i sezona ($p<0.001p<0.001$; $p<0.001$), ali da je efekat staništa veći. Na varijabilnost parametra Fo značajan efekat ima samo sezona ($p<0.001$), a na Fm/Fo značajno utiče samo stanište ($p<0.001$). Na vrednost $t_{1/2}$ kod vrste *F. rubra* ne utiče značajno ni stanište, ni sezona (Tabela 49).

Tabela 49. Uticaj staništa i sezone na varijabilnost parametara fluorescencije hlorofila kod vrste *F. rubra*.

Parametar	**Stanište**		**Sezona**		**Stanište x Sezona**	
	F	**p**	**F**	**p**	**F**	**p**
Fo	2.604	ns	**11.575**	***	2.028	ns
Fm	**151.151**	***	10.895	***	3.943	**
Fv	**208.166**	***	8.846	***	6.433	***
$t_{1/2}$	0.96	ns	2.910	ns	9.728	***
Fv/Fm	**310.11**	***	11.13	***	20.35	***
Fm/Fo	**350.447**	***	2.794	ns	12.579	***

dvofaktorska ANOVA

Kod *F. rubra*, nisu bile utvrđene značajne razlike u vrednostima **Fo** i **$t_{1/2}$** između staništa. Vrednosti **Fm, Fv, Fv/Fm** i **Fm/Fo** su bile značajno manje na K3 i K2 u maju ($p<0.001$), julu ($p<0.01$; $p<0.001$) i avgustu ($p<0.05$; $p<0.01$; $p<0.001$) u odnosu na K_{Bb}. Značajno veće vrednosti istih parametara fluorescencije hlorofila su bile zabeležene na K2 u maju ($p<0.01$; $p<0.001$), julu ($p<0.001$; $p<0.001$) i avgustu ($p<0.001$; $p<0.001$) u odnosu na K3, izuzev u maju kod parametara Fm i Fv (Tabela 50).

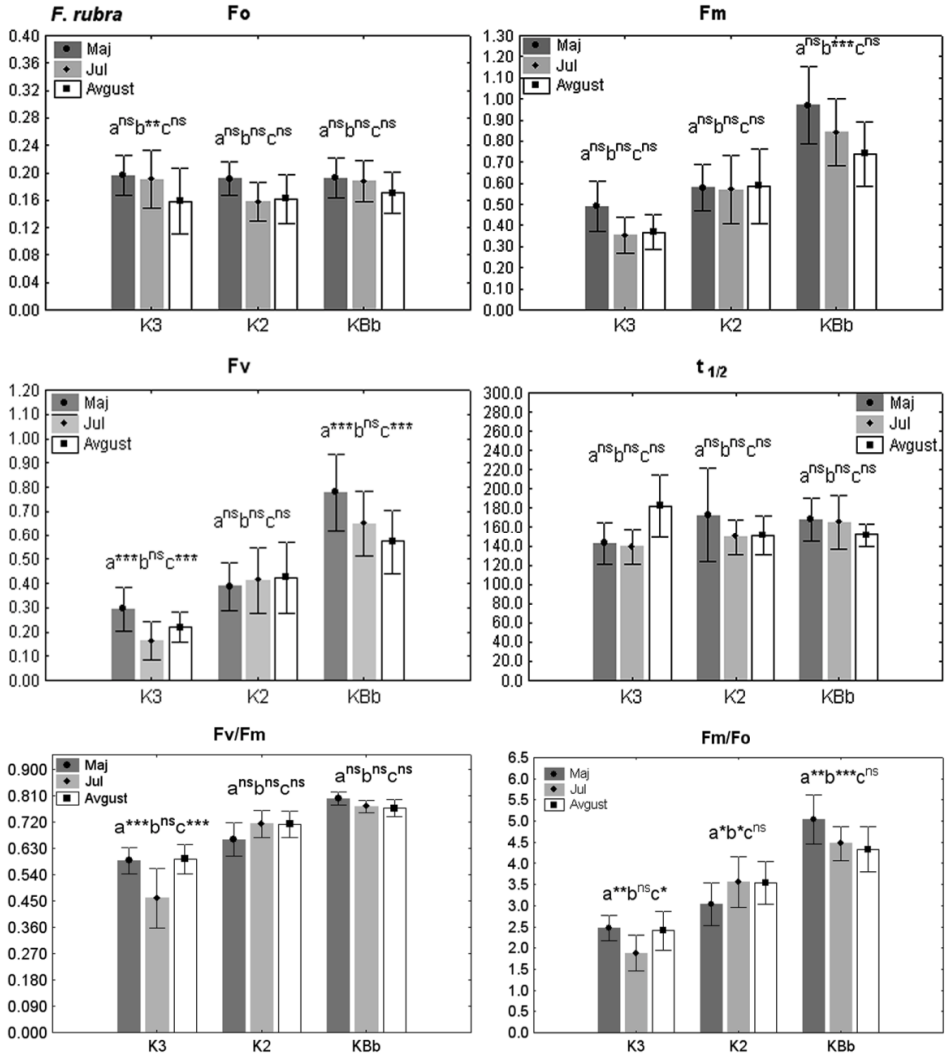
Tokom sezone, vrednost Fo je na K3 u maju bila značajno veća u odnosu na avgust ($p<0.01$). Vrednost Fm je na K_{Bb} bila veća takođe u maju u odnosu na avgust ($p<0.001$). Vrednost Fv je na K3 i K_{Bb} bila značajno manja u julu u odnosu na maj ($p<0.001$; $p<0.001$) i avgust ($p<0.001$; $p<0.001$). Nisu bile utvrđene sezonske razlike u vrednostima $t_{1/2}$ na staništima (Slika 79).

Tabela 50. Parametri fluorescencije hlorofila (Fo, Fm, Fv, $t_{1/2}$, Fv/Fm i Fm/Fo) kod *F. rubra* na kasetama različite starosti (K3 i K2) deponija pepela TENT-A u Obrenovcu i kontrolnom staništu (K_{Bb}).

Parametar		Fo	Fm	Fv	$t_{1/2}$	Fv/Fm	Fm/Fo
Maj							
K3	M (SD)	0.20 (0.029) $a^{ns}b^{ns}$	0.49 (0.118) a^{ns}	0.29 (0.090) a^{ns}	142.8 (22.085) $a^{ns}b^{ns}$	0.588 (0.045)	2.48 (0.296)
	Min - Max	0.15 – 0.24	0.34 – 0.72	0.18 – 0.48	111.0 – 208.0	0.522 – 0.668	2.10 – 3.00
K2	M (SD)	0.19 (0.024) c^{ns}	0.58 (0.109)	0.39 (0.099)	172.5 (48.975) c^{ns}	0.660 (0.057) a***	3.03 (0.507) a**
	Min – Max	0.16 – 0.27	0.37 – 0.78	0.21 – 0.59	152.0 – 375.0	0.541 – 0.760	2.18 – 4.11
K_{Bb}	M (SD)	0.19 (0.029)	0.97 (0.182) b***c***	0.78 (0.157) b***c***	168.0 (23.194)	0.800 (0.023) b***c***	5.03 (0.581) b***c***
	Min - Max	0.09 – 0.23	0.35 – 1.20	0.27 – 0.99	124.0 – 207.0	0.754 – 0.831	3.89 – 6.00
Jul							
K3	M (SD)	0.19 (0.043) $a^{ns}b^{ns}$	0.35 (0.088)	0.16 (0.078)	138.9 (18.722) $a^{ns}b^{ns}$	0.460 (0.102)	1.88 (0.416)
	Min - Max	0.13 – 0.30	0.20 – 0.51	0.05 – 0.31	90.0 – 180.0	0.298 – 0.636	1.19 – 2.72
K2	M (SD)	0.16 (0.028) c^{ns}	0.57 (0.162) a***	0.41 (0.135) a***	149.5 (18.922) c^{ns}	0.713 (0.046) a***	3.55 (0.605) a***
	Min - Max	0.07 – 0.19	0.17 – 0.82	0.10 – 0.64	124.0 – 208.0	0.596 – 0.780	2.43 – 4.56
K_{Bb}	M (SD)	0.19 (0.029)	0.84 (0.159) b***c***	0.65 (0.135) b***c***	165.1 (28.521)	0.774 (0.021) b***c**	4.47 (0.405) b***c***
	Min - Max	0.12 – 0.25	0.50 – 1.07	0.37 – 0.86	111.0 – 222.0	0.727 – 0.814	3.71 – 5.30
Avgust							
K3	M (SD)	0.16 (0.048) $a^{ns}b^{ns}$	0.39 (0.084)	0.22 (0.061)	182.3 (32.695) $a^{ns}b^{ns}$	0.593 (0.050)	2.41 (0.465)
	Min - Max	0.09 – 0.33	0.19 – 0.52	0.10 – 0.33	138.0 – 264.0	0.535 – 0.688	1.77 – 3.14
K2	M (SD)	0.16 (0.036) c^{ns}	0.59 (0.179) a***	0.42 (0.146) a***	151.3 (20.048) c^{ns}	0.713 (0.045) a***	3.54 (0.508) a***
	Min - Max	0.07 – 0.20	0.16 – 0.81	0.08 – 0.61	124.0 – 194.0	0.588 – 0.774	2.86 – 4.39
K_{Bb}	M (SD)	0.17 (0.029)	0.74 (0.153) b***c***	0.57 (0.131) b***c***	151.7 (12.393)	0.767 (0.030) b***c*	4.34 (0.531) b***c***
	Min - Max	0.08 – 0.21	0.30 – 0.95	0.22 – 0.75	124.0 – 167.0	0.706 – 0.819	3.44 – 5.41

dvofaktorska ANOVA, n=20, M (SD), Min – minimalne vrednosti, Max - maksimalne vrednosti; (a) K3-K2; (b) K3-K_{Bb}; (c) K2-K_{Bb}; *** $p<0.001$, ns = nema značajnih razlika.

Na K3, vrednost Fv/Fm je bila manja u julu u odnosu na maj ($p<0.001$) i avgust ($p<0.001$). Vrednost Fm/Fo na K3 je bila manja u julu u odnosu na maj ($p<0.01$) i avgust ($p<0.05$), na K2 je u maju bio manji u odnosu na jul ($p<0.05$) i avgust ($p<0.05$), dok je na K_{Bb} u maju bio manji u odnosu na jul ($p<0.01$) i avgust ($p<0.001$) (Slika 79).



Slika 79. Parametri fluorescencije hlorofila (Fo, Fm, Fv, Fv/Fm, Fv/Fm i Fm/Fo) kod vrste *F. rubra* na različitim staništima tokom sezone. Poređenja su sledeća: (a) Maj - Jul; (b) Maj - Avgust; (c) Jul – Avgust (dvofaktorska ANOVA, n=20; *$p<0.05$; **$p<0.001$; ***$p<0.001$; ns = nema značajnih razlika).

D. glomerata

Dvofaktorska analiza varijanse parametra Fo, Fm, Fv, Fv/Fm i Fm/Fo kod vrste *D. glomerata* je pokazala da na ove parametre značajno utiče stanište ($p<0.001$; $p<0.001$; $p<0.001$; $p<0.01$; $p<0.01$) i sezona ($p<0.01$; $p<0.001$, $p<0.001$, $p<0.01$; $p<0.01$), ali da je efekat staništa veći od sezone. Na vrednost $t_{1/2}$ značajno utiče samo sezona ($p<0.001$) (Tabela 51).

Tabela 51. Uticaj staništa i sezone na varijabilnost parametra fluorescencije hlorofila kod vrste *D. glomerata.*

Parametar	Stanište		Sezona		Stanište x Sezona	
	F	p	F	p	F	p
Fo	**18.659**	***	6.316	**	6.389	**
Fm	**148.334**	***	37.820	***	33.252	***
Fv	**335.077**	***	72.378	***	82.140	***
$t_{1/2}$	0.645	ns	**21.174**	***	10.479	***
Fv/Fm	**551.75**	**	164.45	**	180.37	**
Fm/Fo	**398.877**	**	95.190	**	86.644	**

dvofaktorska ANOVA

Kod *D. glomerata*, vrednost **Fm** je u julu i avgustu na K3 bila manja u odnosu na K_{Ko} ($p<0.001$; $p<0.01$). Vrednosti **Fv**, **Fv/Fm** i **Fm/Fo** su na K3 bile manje u maju ($p<0.001$; $p<0.001$; $p<0.001$) i julu ($p<0.001$; $p<0.001$; $p<0.001$) u odnosu na K_{Ko}. Vrednost **$t_{1/2}$** je na K3 bila manja samo u avgustu u odnosu na K_{Ko} ($p<0.05$) (Tabela 52).

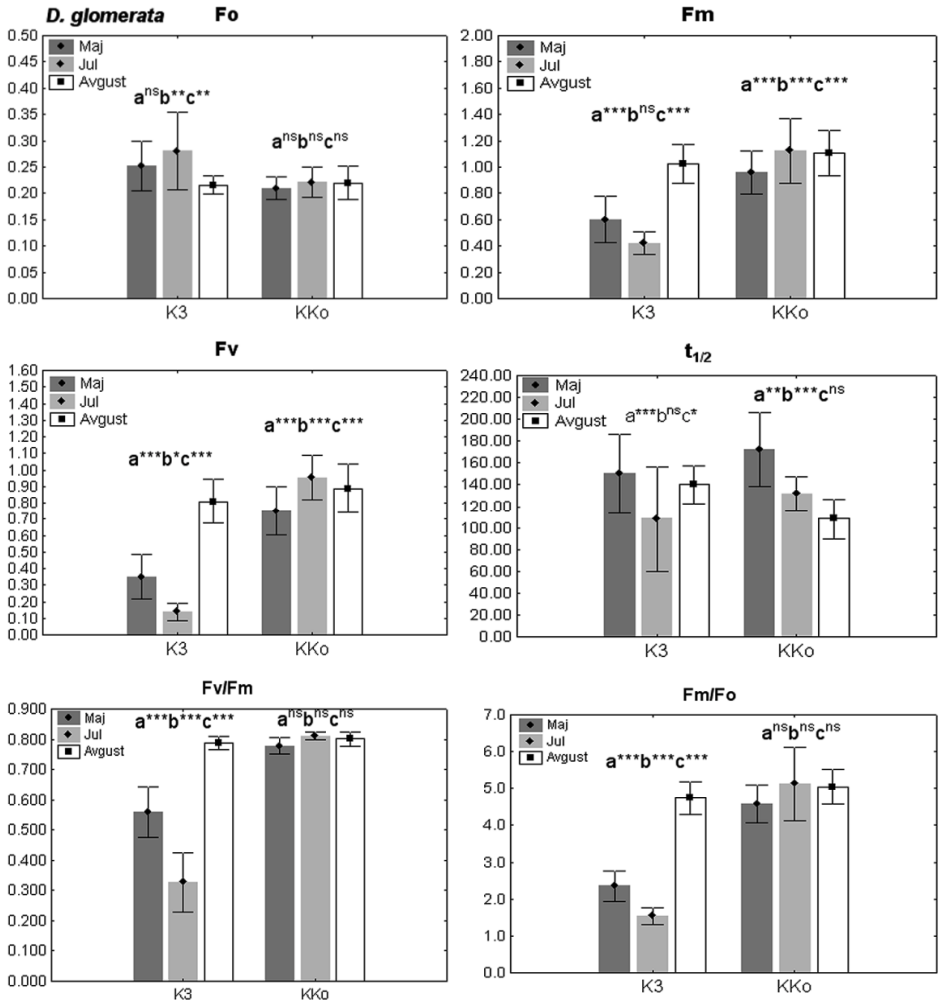
Tokom sezone, vrednost Fo je na K3 bila u avgustu manja u odnosu na maj ($p<0.01$) i jul ($p<0.01$). Vrednosti Fm, Fv, $t_{1/2}$, Fv/Fm i Fm/Fo su na K3 u julu bile manje u odnosu na maj ($p<0.001$; $p<0.001$; $p<0.001$; $p<0.001$; $p<0.001$) i avgust ($p<0.001$; $p<0.01$; $p<0.05$; $p<0.001$; $p<0.001$). Na K_{Ko}, vrednosti Fm i Fv su u maju bile manje u odnosu na jul ($p<0.001$) i avgust ($p<0.001$), dok je $t_{1/2}$ u maju bila veća u odnosu na jul ($p<0.01$) i avgust ($p<0.001$) (Slika 80).

.

Tabela 52. Parametri fluorescencije hlorofila (Fo, Fm, Fv, $t_{1/2}$, Fv/Fm i Fm/Fo) kod *D. glomerata* na kaseti K3 deponije pepela TENT-A u Obrenovcu i kontrolnom staništu (K_{Ko}).

Parametar		Fo	Fm	Fv	$t_{1/2}$	Fv/Fm	Fm/Fo
Maj							
K3	M (SD)	0.25 (0.047) a^{ns}	0.60 (0.173) ans	0.35 (0.138) a***	149.9 (36.688) a^{ns}	0.560 (0.083)	2.35 (0.408)
	Min - Max	0.18 – 0.33	0.28 – 0.87	0.10 – 0.59	97.0 – 208.0	0.352 – 0.688	1.78 – 3.19
K_{Ko}	M (SD)	0.21 (0.022)	0.96 (0.162)	0.75 (0.146)	171.9 (33.782)	0.778 (0.028) a***	4.59 (0.513) a***
	Min - Max	0.16 – 0.25	0.68 – 1.31	0.48 – 1.06	125.0 – 235.0	0.699 – 0.813	3.3 – 5.3
Jul							
K3	M (SD)	0.28 (0.074) a^{ns}	0.42 (0.084)	0.14 (0.052)	108.2 (48.468) a^{ns}	0.327 (0.098)	1.54 (0.237)
	Min - Max	0.20 – 0.46	0.29 – 0.60	0.06 – 0.23	50.0 – 222.0	0.192 – 0.484	1.24 – 1.96
K_{Ko}	M (SD)	0.22 (0.028)	1.12 (0.247) a***	0.95 (0.134) a***	131.8 (16.040)	0.811 (0.013) a***	5.13 (0.993) a***
	Min - Max	0.15 – 0.26	0.30 – 1.37	0.61 – 1.13	97.0 – 153.0	0.777 – 0.833	4.54 – 6.10
Avgust							
K3	M (SD)	0.21 (0.018) a^{ns}	1.02 (0.148) a**	0.81 (0.133)	140.1 (17.349) a*	0.787 (0.021)	4.74 (0.438)
	Min - Max	0.18 – 0.26	0.73 – 1.27	0.53 – 1.01	111.0 – 180.0	0.729 – 0.803	3.65 – 5.35
K_{Ko}	M (SD)	0.22 (0.032)	1.11 (0.170)	0.89 (0.147) a^{ns}	108.1 (18.460)	0.800 (0.024) a^{ns}	5.05 (0.469) a^{ns}
	Min - Max	0.14 – 0.26	0.72 – 1.34	0.57 – 1.09	83.0 – 153.0	0.704 – 0.817	3.31 – 5.43

dvofaktorska ANOVA, n=20, M (SD), Min – minimalne vrednosti, Max - maksimalne vrednosti; (a) K3-K_{Ko}* $p<0.05$; ** $p<0.01$; *** $p<0.001$, ns = nema značajnih razlika.



Slika 80. Parametri fluorescencije hlorofila (Fo, Fm, Fv, Fv/Fm, Fv/Fm i Fm/Fo) kod vrste *D. glomerata* na različitim staništima tokom sezone. Poređenja su sledeća: (a) Maj - Jul; (b) Maj - Avgust; (c) Jul – Avgust (dvofaktorska ANOVA, n=20; *p<0.05; **p<0.001; ***p<0.001; ns = nema značajnih razlika).

O. biennis

Dvofaktorska analiza varijanse parametra Fo, Fm, Fv i $t_{1/2}$ kod vrste *O. biennis* je pokazala da na ove parametre značajno utiče stanište (p<0.001; p<0.001; p<0.001; p<0.001) i sezona (p<0.001; p<0.001; p<0.001; p<0.001), ali da je efekat staništa veći od sezone. Na parametre Fv/Fm i Fm/Fo značajno utiče samo stanište (p<0.001; p<0.001) (Tabela 53).

Tabela 53. Uticaj staništa i sezone na varijabilnost parametra fluorescencije hlorofila kod vrste *O. biennis*.

Parametar	Stanište		Sezona		Stanište x Sezona	
	F	p	F	p	F	p
Fo	**25.768**	***	21.340	***	0.462	ns
Fm	**10.667**	***	10.055	***	16.989	***
Fv	**8.336**	***	5.806	***	20.397	***
$t_{1/2}$	**30.688**	***	10.103	***	30.901	***
Fv/Fm	**11.08**	***	1.35	ns	33.32	***
Fm/Fo	**8.703**	***	0.717	ns	24.959	***

dvofaktorska ANOVA

Kod *O. biennis*, vrednost **Fo** je u maju na K3 i K2 bila veća ($p<0.01$; $p<0.01$), u julu na K3 veća ($p<0.001$), a u avgustu slična vrednostima istih na K_{Bk}. Vrednosti **Fm** i **Fv** su u maju na K3 i K2 bile slične, u julu na K3 manje ($p<0.05$; $p<0.001$), a u avgustu na K3 i K2 veće ($p<0.001$; $p<0.01$) u odnosu na K_{Bk}. Vrednost **$t_{1/2}$** je u maju na K3 i K2 bila manja ($p<0.001$; $p<0.001$), na K3 u julu, takođe manja ($p<0.01$), a u avgustu na K3 i K2 jednaka istim na K_{Bk}. Vrednosti **Fv/Fm** i **Fm/Fo** su bile značajno manje na K3 u maju ($p<0.01$; $p<0.01$) i julu ($p<0.001$; $p<0.001$), a veće na K3 i K2 u avgustu ($p<0.05$; $p<0.001$; $p<0.05$; $p<0.001$) u odnosu na K_{Bk}. Vrednosti Fv/Fm i Fm/Fo su maju i julu na K2 bile veće ($p<0.05$; $p<0.001$; $p<0.001$) u odnosu na K3, izuzev Fv/Fm u maju. U avgustu su na K3 bile veće u odnosu na K2 ($p<0.01$; $p<0.05$) (Tabela 54).

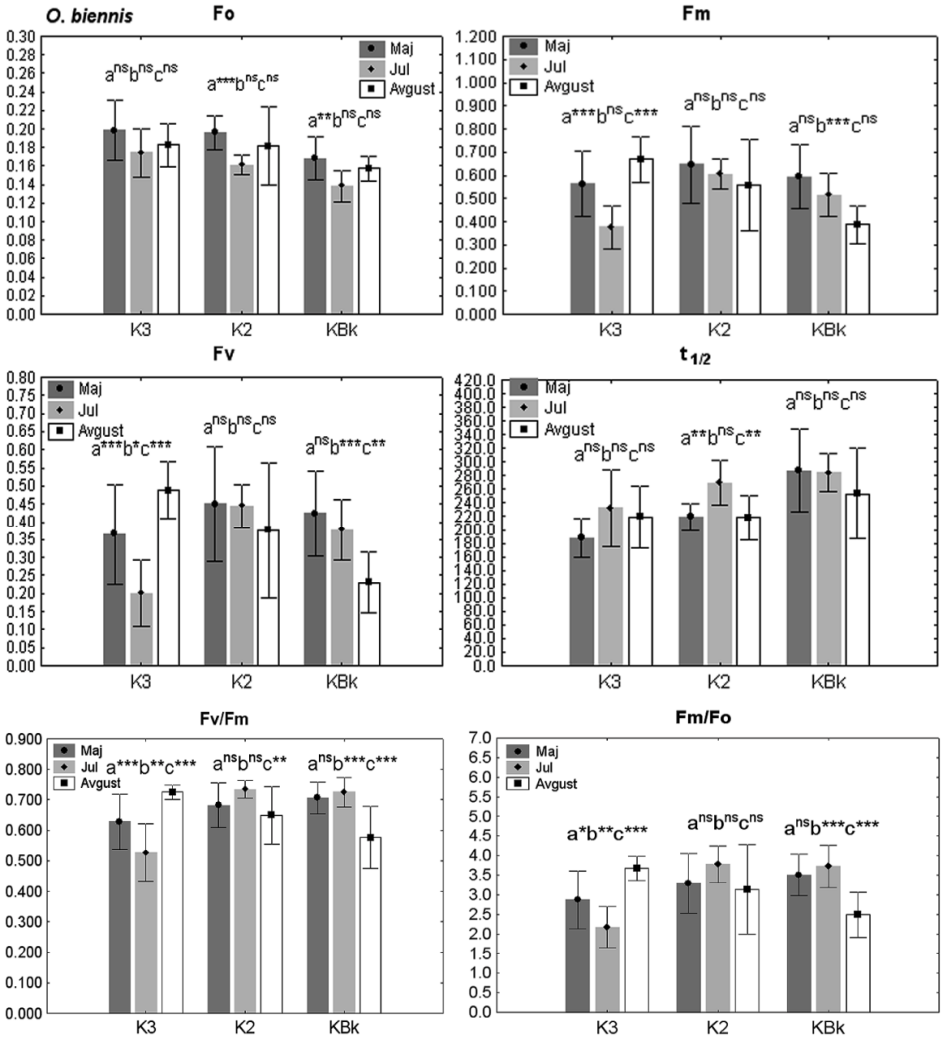
Tokom sezone, vrednosti Fo su na K2 i K_{Bk} u maju bile veće u odnosu na jul ($p<0.001$; $p<0.01$). Vrednosti Fm i Fv su na K3 u julu bile manje u odnosu na maj ($p<0.001$; $p<0.001$) i avgust ($p<0.001$; $p<0.001$), dok su vrednosti na K_{Bk} u maju bile značajno veće u odnosu na avgust ($p<0.001$; $p<0.001$). Vrednosti $t_{1/2}$ su tokom sezone samo na K2 u julu bile značajno veće u odnosu na maj ($p<0.01$) i avgust ($p<0.01$). Tokom sezone, na K3 vrednosti Fv/Fm i Fm/Fo su bile značajno manje u julu u odnosu na maj ($p<0.001$; $p<0.05$) i avgust ($p<0.01$; $p<0.01$) (Slika 81).

Tabela 54. Parametri fluorescencije hlorofila (Fo, Fm, Fv, $t_{1/2}$, Fv/Fm i Fm/Fo) kod *O. biennis* na kasetama različite starosti (K3 i K2) deponije pepela TENT-A u Obrenovcu i kontrolnom staništu (K_{Bk}).

Parametar		Fo	Fm	Fv	$t_{1/2}$	Fv/Fm	Fm/Fo
Maj							
K3	M (SD) Min - Max	0.20 (0.032) $a^{ns}b^{**}$ 0.15 – 0.28	0.56 (0.141) $a^{ns}b^{ns}$ 0.34 – 0.80	0.36 (0.138) $a^{ns}b^{ns}$ 0.17 – 0.59	187.5 (28.528) a^{ns} 133.0 – 250.0	0.629 (0.091) 0.444 – 0.761	2.87 (0.738) $a^{ns}b^{ns}$ 1.83 – 4.17
K2	M (SD) Min – Max	0.20 (0.025) c** 0.16 – 0.28	0.64 (0.163) c^{ns} 0.44 – 0.99	0.44 (0.161) c^{ns} 0.24 – 0.77	215.4 (25.901) 139.0 – 250.0	0.683 (0.074) a^{ns} 0.556 – 0.780	3.28 (0.760) 2.44 – 4.56
K_{Bb}	M (SD) Min - Max	0.17 (0.023) 0.12 – 0.22	0.37 (0.137) 0.37 – 0.83	0.42 (0.119) 0.23 – 0.61	287.3 (60.340) b***c*** 180.0 – 417.0	0.707 (0.052) $b^{*}c^{ns}$ 0.611 – 0.765	3.51 (0.530) c^{ns} 2.47 – 4.21
Jul							
K3	M (SD) Min - Max	0.17 (0.026) $a^{ns}b^{***}$ 0.14 – 0.25	0.37 (0.093) 0.24 – 0.60	0.20 (0.091) a*** 0.06 – 0.40	232.2 (56.145) a^{ns} 153.0 – 347.0	0.527 (0.094) 0.413 – 0.668	2.17 (0.529) 1.24 – 3.00
K2	M (SD) Min - Max	0.16 (0.010) c^{ns} 0.14 – 0.18	0.60 (0.063) a*** 0.51 – 0.75	0.44 (0.059) 0.35 – 0.57	269.7 (32.283) 208.0 – 319.0	0.734 (0.028) a*** 0.690 – 0.793	3.78 (0.473) a*** 2.94 – 4.87
K_{Bb}	M (SD) Min - Max	0.14 (0.017) 0.12 – 0.18	0.51 (0.091) $b^{*}c^{ns}$ 0.31 – 0.68	0.38 (0.084) $b^{**}c^{ns}$ 0.19 – 0.50	284.6 (27.421) $b^{**}c^{ns}$ 249.0 – 347.0	0.725 (0.049) $b^{***}c^{ns}$ 0.603 – 0.777	3.72 (0.537) $b^{***}c^{ns}$ 2.53 – 4.31
Avgust							
K3	M (SD) Min - Max	0.18 (0.023) $a^{ns}b^{ns}$ 0.13 – 0.23	0.67 (0.098) $a^{ns}b^{***}$ 0.49 – 0.83	0.49 (0.079) $a^{ns}b^{***}$ 0.36 – 0.60	219.0 (46.417) $a^{ns}b^{ns}$ 138.0 – 305.0	0.726 (0.023) a*b*** 0.680 – 0.755	3.67 (0.315) $a^{ns}b^{***}$ 3.06 – 4.14
K2	M (SD) Min - Max	0.18 (0.043) c^{ns} 0.13 – 0.30	0.56 (0.197) c*** 0.36 – 0.91	0.38 (0.187) c** 0.19 – 0.75	218.5 (33.298) c^{ns} 153.0 – 278.0	0.650 (0.095) c^{ns} 0.536 – 0.822	3.13 (1.144) c^{ns} 2.12 – 5.27
K_{Bb}	M (SD) Min - Max	0.16 (0.013) 0.13 – 0.19	0.39 (0.082) 0.26 – 0.56	0.23 (0.084) 0.10 – 0.41	253.7 (66.472) 130.0 – 346.0	0.577 (0.102) 0.364 – 0.727	2.49 (0.579) 1.59 – 3.73

dvofaktorska ANOVA, n=20, M (SD), Min – minimalne vrednosti, Max - maksimalne vrednosti; (a) K3-K2; (b) K3-K_{Bk}; (c) K2-K_{Bk}; * $p<0.05$; ** $p<0.01$; *** $p<0.001$, ns = nema značajnih razlika.

Na K2, vrednost Fv/Fm je samo u julu bila značajno veća u odnosu na avgust ($p<0.01$), dok značajnih razlika u vrednostima Fm/Fo tokom sezone nisu bile zabeležene. Na K_{Bk}, vrednosti Fv/Fm i Fm/Fo su avgustu bile manje u odnosu na maj ($p<0.001$; $p<0.001$) i jul ($p<0.001$; $p<0.001$) (Slika 81).



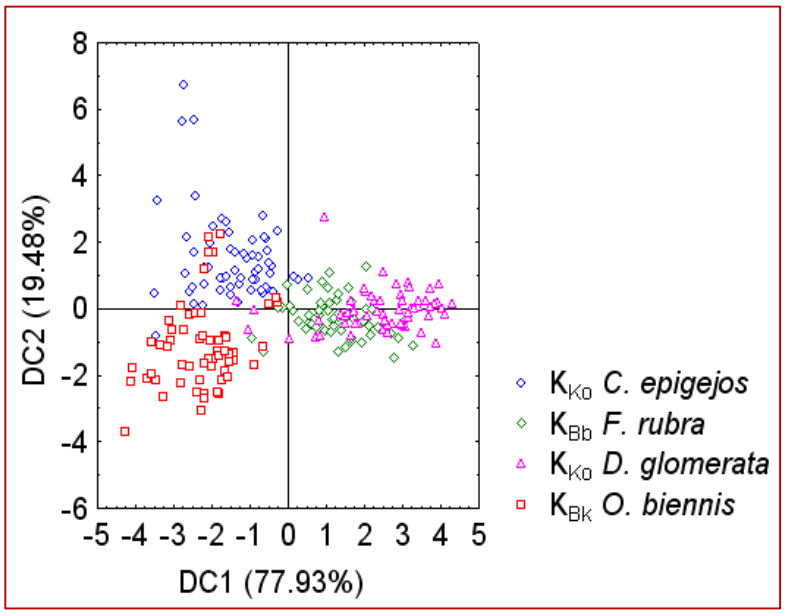
Slika 81. Parametri fluorescencije hlorofila (Fo, Fm, Fv, Fv/Fm, Fv/Fm i Fm/Fo) kod vrste *O. biennis* na različitim staništima tokom sezone. Poređenja su sledeća: (a) Maj - Jul; (b) Maj - Avgust; (c) Jul – Avgust (dvofaktorska ANOVA, n=20; * $p<0.05$; **$p<0.001$; ***$p<0.001$; ns = nema značajnih razlika).

Kod ***C. epigejos*** vrednosti Fm, Fv, Fv/Fm i Fm/Fo su bile najveće na K2, parametar $t_{1/2\ je}$ varirao a vrednosti Fo se nisu značajno razlikovale između staništa. Kod ove vrste je tokom sredine i kraja leta na K3 i K2 došlo do smanjivanja vrednosti svih parametara, izuzev $t_{1/2}$. Kod ***F. rubra*** i ***D. glomerata*** vrednosti Fm, Fv, $t_{1/2}$, Fv/Fm i Fm/Fo su bile najveće na kontrolnom staništu, a najmanje na K3, dok se vrednosti Fo nisu značajno razlikovale između staništa. Kod obe vrste, naročito na K3, vrednosti Fo i Fm su bile najmanje krajem leta, a Fv, Fv/Fm i Fm/Fo sredinom leta. Kod ***O. biennis*** vrednosti Fo i Fm su bile veće na K3 i K2 u odnosu na kontrolno stanište. Vrednosti Fv, Fv/Fm i Fm/Fo su bile najveće na K2, a najmanje na K3, dok je parametar $t_{1/2}$ bio najveći na kontrolnom staništu. Ovu vrstu na K3 sredinom leta odlikuju najmanje vrednosti Fm i Fv/Fm, dok na K2 $t_{1/2}$ i Fv/Fm imaju najveće vrednosti u julu.

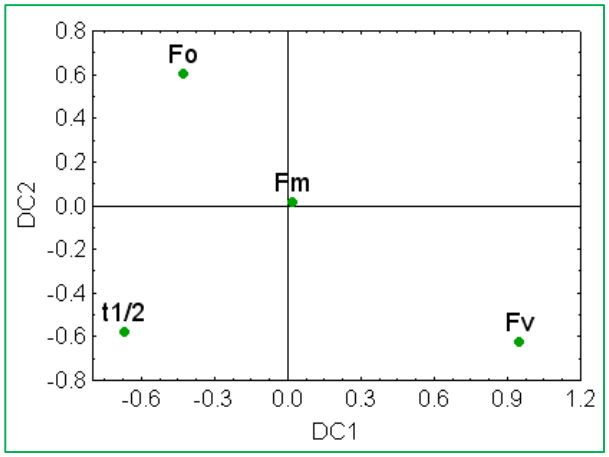
Na Slikama 82 i 83 su prikazani rezultati **kanonijske diskriminacione analize na kontrolnim staništima**. Prva diskriminaciona funkcija (DC1) objašnjava najveći procenat varijabilnosti i iznosi 77.93%. Prema DC1 jasno se izdvajaju *D. glomerata* i *F. rubra* od *C. epigejos* i *O. biennis*, a razlikama najviše doprinose parametri Fv i $t_{1/2}$. Druga diskriminaciona funkcija (DC2) objašnjava manji procenat varijabilnosti i iznosi 19.48%. Prema DC2 uočava se razdvajanje *C. epigejos* od *O. biennis* i najveći doprinos razlikama daju parametri Fv i Fo.

Na Slikama 84 i 85 su prikazani rezultati **kanonijske diskriminacione analize na K3**. Prva diskriminaciona funkcija (DC1) objašnjava 53.70% ukupne varijanse ispitivanih parametara, a druga diskriminaciona funkcija (DC2) objašnjava 44.23% varijanse. Prema DC1 i DC2 uočava se veliko preklapanje vrsta, tako da razdvajanje vrsta nije jasno izraženo. Uprkos značajnom preklapanju vrsta, prema DC1, mogle bi se razdvojiti *O. biennis* i *F. rubra* od *D. glomerata*, a tim malim razlikama najviše doprinose Fm i Fv. Prema DC2, *F. rubra* bi se mogla odvojiti od *O. biennis*, i tome najviše doprinose isti parametri Fm i Fv.

Na Slikama 86 i 87 su prikazani rezultati kanonijske **diskriminacione analize na K2**. Kumulativni procenat varijanse za prvu diskriminacionu funkciju (DC1) iznosi 81.95%, a za drugu diskriminacionu funkciju (DC2) 18.05%. Prema DC1 razdvajaju se *C. epigejos* i *F. rubra* od *O. biennis*, a razlikama najviše doprinose parametri Fm i Fv. Prema DC2, odvaja se *C. epigejos* od *F. rubra*, a tim razlikama doprinosi parametar Fm.

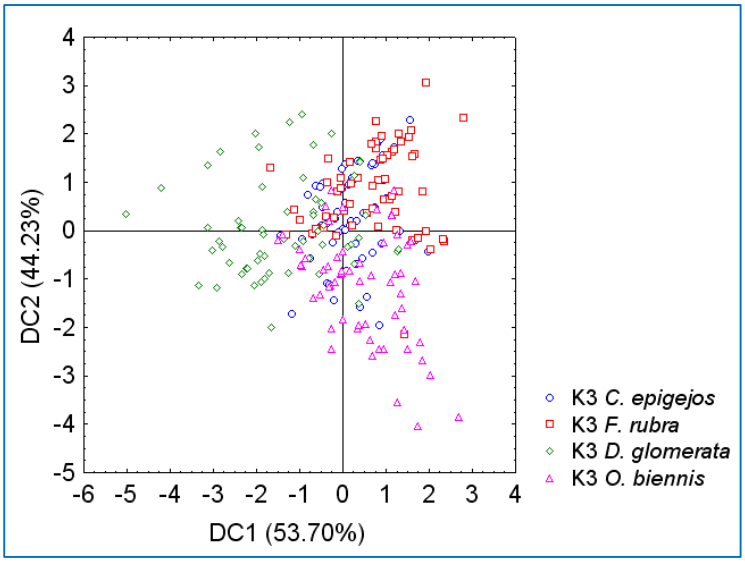


Slika 82. Kanonijska diskriminaciona analiza – grupisanje biljaka na osnovu parametara fluorescencije hlorofila na kontrolnim staništima.

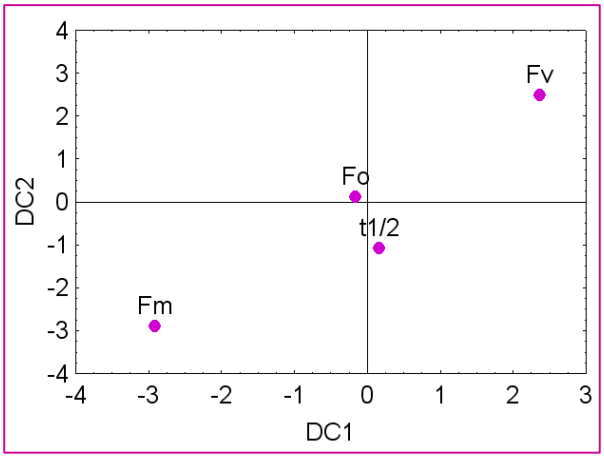


	Diskriminaciona funkcija 1 DC1	Diskriminaciona funkcija 2 DC2
Fo	-0.428457	**0.597642**
Fm	0.020748	0.014327
Fv	**0.950384**	**-0.623817**
$t_{1/2}$	**-0.668401**	-0.580866
Eigen – vrednost	3.723206	0.931093
Kumulativni procenat	0.779350	0.974249

Slika 83. Standardizovani koeficijenti za kanonijske varijable; doprinos varijabilnosti parametara fluorescencije hlorofila između ispitivanih biljaka na kontrolnim staništima.

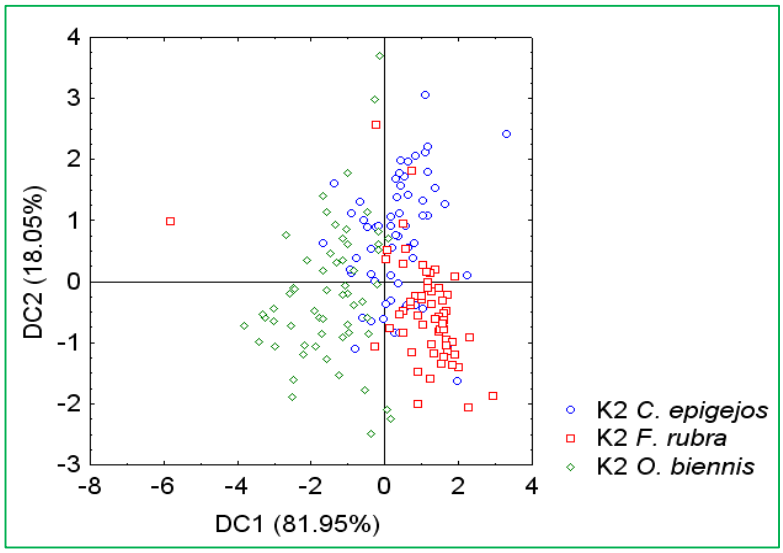


Slika 84. Kanonijska diskriminaciona analiza – grupisanje biljaka na osnovu parametara fluorescencije hlorofila na K3.

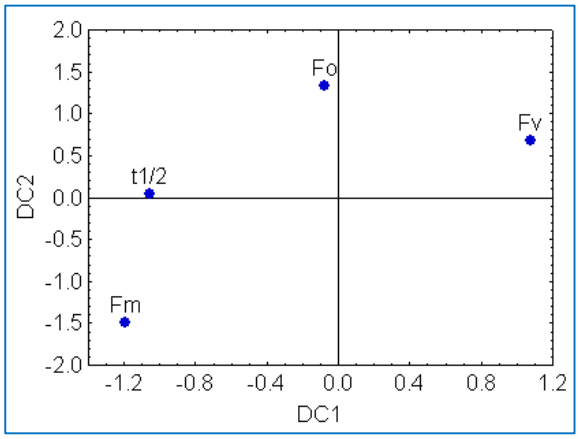


	Diskriminaciona funkcija 1 DC1	Diskriminaciona funkcija 2 DC2
Fo	-0.15730	0.11585
Fm	**-2.91090**	**-2.90523**
Fv	**2.36842**	**2.49257**
$t_{1/2}$	0.17001	-1.08792
Eigen – vrednost	0.68401	0.56334
Kumulativni procenat	0.53704	0.97933

Slika 85. Standardizovani koeficijenti za kanonijske varijable; doprinos varijabilnosti parametara fluorescencije hlorofila između ispitivanih biljaka na K3.



Slika 86. Kanonijska diskriminaciona analiza – grupisanje vrsta biljaka na osnovu parametara fluorescencije hlorofila na K2.



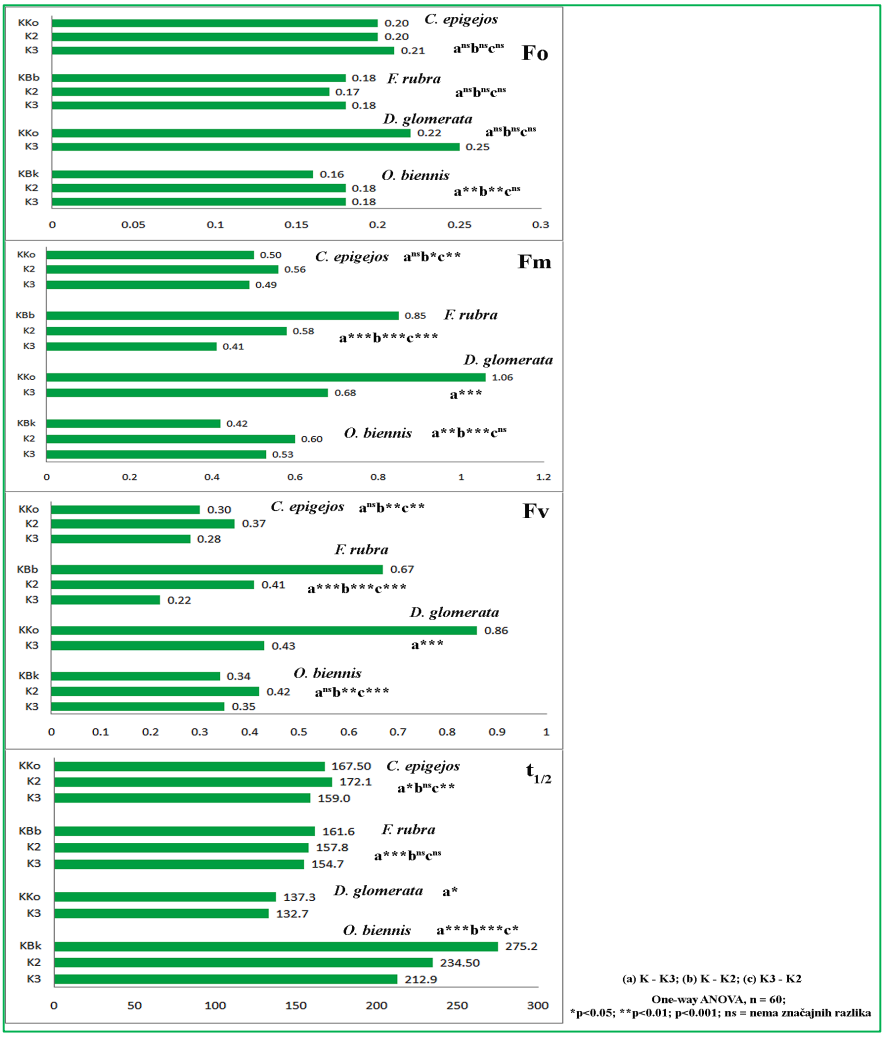
	Diskriminaciona funkcija 1 DC1	Diskriminaciona funkcija 2 DC2
Fo	-0.07375	1.33490
Fm	**-1.19257**	**-1.50043**
Fv	**1.07685**	0.67395
$t_{1/2}$	-1.05748	0.04145
Eigen – vrednost	1.14754	0.25281
Kumulativni procenat	0.81947	1.00000

Slika 87. Standardizovani koeficijenti za kanonijske varijable; doprinos varijabilnosti parametara fluorescencije hlorofila između ispitivanih vrsta biljaka na K2.

CDA analizom je pokazano da se ***D. glomerata*** i ***F. rubra*** na kontrolnim staništima razlikuju od ***C. epigejos*** i ***O. biennis*** po većim vrednostima Fv parametra. Na K3, ***D. glomerata*** se razlikuje od ***F. rubra*** po većim vrednostima Fm, a od ***C. epigejos*** po većim vrednostima Fv. Na K2, ***O. biennis*** se najviše izdvaja od ***C. epigejos*** po većim vrednostima Fm i Fv.

5.5.2. Prosečna godišnja kinetika fluorescencije hlorofila ispitivanih biljaka

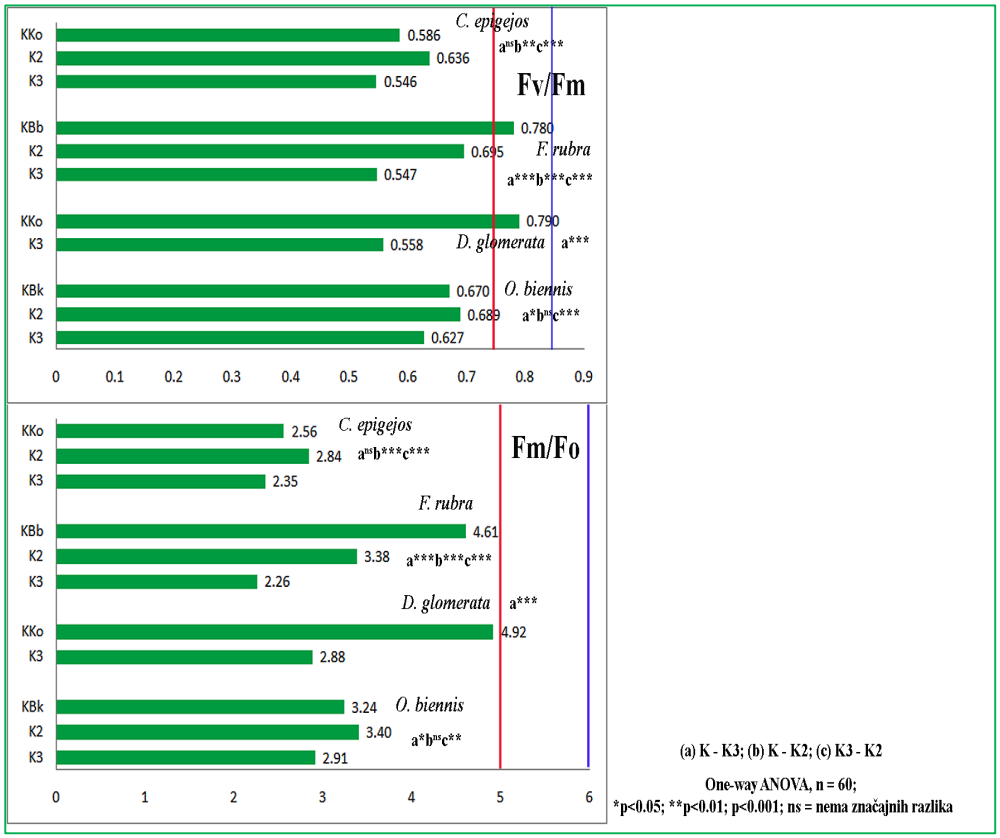
Vrednosti Fo kod *C. epigejos*, *F. rubra* i *D. glomerata* na deponiji pepela se nisu značajno razlikovale od kontrole, dok su kod *O. biennis* bile veće na obe kasete u odnosu na kontrolno stanište. **Vrednosti Fm** su kod *F. rubra* i *D. glomerata* na deponiji pepela bile manje u odnosu na kontrolno stanište. Kod *C. epigejos* vrednosti Fm su bile veće na K2, a kod *O. biennis* veće na K3 i K2 u odnosu na kontrolna staništa (Slika 88).



Slika 88. Prosečne godišnje vrednosti parametara fluorescencije hlorofila (Fo, Fm, Fv i $t_{1/2}$) kod *C. epigejos*, *F. rubra*, *D. glomerata* i *O. biennis* na kontrolnim staništima (K_{Ko}, K_{Bb} i K_{Bk}) i kasetama različite starosti (K3 i K2) deponije pepela TENT-A u Obrenovcu.

Slično je bilo zabeleženo za **vrednost Fv**, s tim što je kod *O. biennis* ta vrednost bila veća na K2 u odnosu na kontrolno stanište. **Vrednosti $t_{1/2}$** su kod *C. epigejos, F. rubra* i *D. glomerata* na K3 bile manje u odnosu na kontrolno stanište, dok su kod *O. biennis* na obe kasete bile manje nego na kontrolnom staništu (Slika 88).

Vrednosti Fv/Fm su kod *C. epigejos* i *O. biennis* na kontrolnim staništima, kao i na deponiji pepela bile ispod optimalnog opsega za biljke (0.750 – 0.850, Björkman and Demmig, 1987). Kod *F. rubra* i *D. glomerata* vrednosti Fv/Fm su na kontrolnim staništima bile u normalnom opsegu, dok su na deponiji pepela bile ispod optimalnih vrednosti. **Vrednosti Fm/Fo** su kod ispitivanih biljaka na svakom staništu bile ispod optimuma (5.0 – 6.0, Björkman and Demmig, 1987). Kod *C. epigejos* vrednosti Fv/Fm i Fm/Fo su na K2 bile veće u odnosu na kontrolno stanište, dok su kod ostalih vrsta te vrednosti na deponiji pepela bile manje u odnosu na kontrolna staništa (Slika 89).



Slika 89. Prosečne godišnje vrednosti parametara fluorescencije hlorofila (Fv/Fm i Fm/Fo) kod *C. epigejos*, *F. rubra*, *D. glomerata* i *O. biennis* na kontrolnim staništima (K_{Ko}, K_{Bb} i K_{Bk}) i kasetama različite starosti (K3 i K2) deponije pepela TENT-A u Obrenovcu.

Dvofaktorska analiza varijansi parametra fluorescencije hlorofila (Fv/Fm i Fm/Fo) je pokazala razlike između kontrolnih staništa (K) i K2 u odnosu na vrstu ($p<0.001$; $p<0.001$; $p<0.001$; $p<0.001$) i sezonu ($p<0.001$; $p<0.001$; $p<0.001$; $p<0.001$), ali da veći uticaj ima vrsta. Na K3, razlike takođe postoje u odnosu na vrstu ($p<0.001$; $p<0.001$; $p<0.001$; $p<0.001$) i sezonu ($p<0.001$; $p<0.001$; $p<0.001$; $p<0.001$), ali je efekat sezone veći (Tabela 55).

Tabela 55. Uticaj vrste biljaka i sezone na varijabilnost parametra fluorescencije hlorofila na različitim staništima.

Parametar	**Vrsta biljaka**		**Sezona**		**Vrsta biljaka x Sezona**	
	F	**p**	**F**	**p**	**F**	**p**
K						
Fv/Fm	**166.14**	***	14.54	***	29.99	***
Fm/Fo	**236.50**	***	8.87	***	17.37	***
K3						
Fv/Fm	18.01	***	**259.75**	***	22.5	***
Fm/Fo	40.338	***	**278.66**	***	48.694	***
K2						
Fv/Fm	**14.32**	***	10.46	***	4.98	***
Fm/Fo	**14.415**	***	8.236	***	2.890	*

dvofaktorska ANOVA

S obzirom na to da varijabilnost parametara Fv/Fm i Fm/Fo u velikoj meri zavisi od vrste, korišćena je jednofaktorska ANOVA gde je sezona (maj, jul i avgust) spojena (pulirana) i time je dobijena prosečna efikasnost fotosinteze biljaka u sezoni, kako bi se procenile razlike između ispitivanih biljaka na svakom staništu pojedinačno (Tabela 56).

Analiza je pokazala da na **kontrolnim staništima**, vrste *D. glomerata* i *F. rubra* imaju veću efikasnost fotosinteze (Fv/Fm i Fm/Fo) u odnosu na *O. biennis* i *C. epigejos* ($p<0.05$; $p<0.01$; $p<0.001$).

Na **K3**, *O. biennis* ima najveću fotosintetičku efikasnost (Fv/Fm, $p<0.001$), dok je odnos Fm/Fo veći kod *O. biennis* i *D. glomerata* u odnosu na *C. epigejos* i *F. rubra* ($p<0.01$; $p<0.001$).

Na **K2**, *F. rubra* i *O. biennis* se odlikuju većom fotosintetičkom efikasnošću (Fv/Fm i Fm/Fo) u odnosu na *C. epigejos* ($p<0.001$; $p<0.001$).

Tabela 56. Razlike u parametrima fluorescencije hlorofila (Fv/Fm i Fm/Fo) između ispitivanih biljaka na različitim staništima.

	Kontrolna staništa (K_{Ko}, K_{Bb} K_{Bk})					**K3**					**K2**			
Vrsta	**M (SD)**	***C. epigejos***	***F. rubra***	***D. glomerata***	***O. biennis***	**M (SD)**	***C. epigejos***	***F. rubra***	***D. glomerata***	***O. biennis***	**M (SD)**	***C. epigejos***	***F. rubra***	***O. biennis***
						Fv/Fm								
C. epigejos	0.586 (0.033)	-	***	***	***	0.546 (0.064)	-	ns	ns	***	0.636 (0.082)	-	***	***
F. rubra	0.780 (0.029)	***	-	*	***	0.547 (0.093)	ns	-	ns	***	0.695 (0.055)	***	-	ns
D. glomerata	0.790 (0.026)	***	*	-	***	0.558 (0.203)	ns	ns	-	***	/	/	/	/
O. biennis	0.670 (0.026)	***	***	***	-	0.627 (0.021)	***	***	***	-	0.689 (0.018)	***	ns	-
						Fm/Fo								
C. epigejos	2.56 (0.257)	-	***	***	**	2.35 (0.531)	-	ns	**	***	2.84 (0.265)	-	**	*
F. rubra	4.61 (0.588)	***	-	**	***	2.26 (0.474)	ns	-	**	***	3.38 (0.587)	**	-	ns
D. glomerata	4.92 (0.728)	***	**	-	***	2.88 (1.419)	**	**	-	ns	/	/	/	/
O. biennis	3.24 (0.264)	**	***	***	-	2.91 (0.324)	***	***	ns	-	3.40 (0.869)	*	ns	-

jednofaktorska ANOVA, M (SD), n=60, * p< 0.05; ** p<0.01; **p<0.01; *** p<0.001, ns = nema značajnih razlika.

5.5.3. Sezonska dinamika sadržaja pigmenata u listovima ispitivanih biljaka

C. epigejos

Dvofaktorska analiza varijanse parametara hlorofila (Chl *a*, Chl *b*, Chl *a+b*, Chl *a/b*) u listovima vrste *C. epigejos* je pokazala da na hlorofil značajno utiče stanište ($p<0.05$; $p<0.001$), dok sezona nema efekta. Na sadržaj ukupnih karotenoida (Tot Carot) u listovima značajno utiče stanište ($p<0.001$) i sezona ($p<0.01$), ali je uticaj staništa veći. Na sadržaj antocijana u listovima *C. epigejos* efekat staništa i sezone nije značajan (Tabela 57). Uočeno je da na različitim staništima postoji sličan sezonski trend promena količine Chl *a*, Chl *a+b*, Tot Carot i antocijana u listovima *C. epigejos*.

Tabela 57. Uticaj staništa i sezone na varijabilnost sadržaja pigmenata u listovima vrste *C. epigejos*.

Parametar	**Stanište**		**Sezona**		**Stanište x Sezona**	
	F	**p**	**F**	**p**	**F**	**p**
Chl *a*	**34.524**	***	1.070	ns	1.017	ns
Chl *b*	**22.966**	***	0.6034	ns	3.1445	*
Chl *a+b*	**33.591**	***	0.558	ns	1.263	ns
Chl *a/b*	**3.883**	*	0.713	ns	6.073	***
Tot Carot	**12.457**	***	5.028	**	0.560	ns
Antocijani	0.2916	ns	3.8372	ns	0.2601	ns

dvofaktorska ANOVA

Sadržaj **Chl *a*** u listovima *C. epigejos* je na K3 i K2 bio manji u maju ($p<0.001$; $p<0.001$) i avgustu ($p<0.001$; $p<0.001$), dok je u julu bio manji samo na K2 ($p<0.01$) u odnosu na K_{Ko}. Razlike nisu bile utvrđene u količini Chl *a* između K3 i K2. Sadržaj **Chl *b*** u listovima je bio manji samo u maju na K3 i K2 ($p<0.001$; $p<0.001$) u odnosu na K_{Ko}. U julu i avgustu nisu bile utvrđene razlike u količini Chl *b* između staništa. Sadržaj **Chl *a+b*** u listovima je na K3 i K2 bio manji u maju ($p<0.001$; $p<0.001$), julu ($p<0.05$; $p<0.001$) i avgustu ($p<0.05$; $p<0.01$) u odnosu K_{Ko}. Sezonskih razlika u količini Chl *a+b* nije bilo između K3 i K2. Odnos **Chl *a/b*** je na K2 u maju bio veći ($p<0.001$) u odnosu na K_{Ko}. U julu i avgustu nisu izmerene razlike u Chl *a/b* između staništa. Tokom maja, jula i avgusta nisu utvеđene razlike u sadržaju **Tot Carot** i **antocijana** u između staništa (Tabela 58).

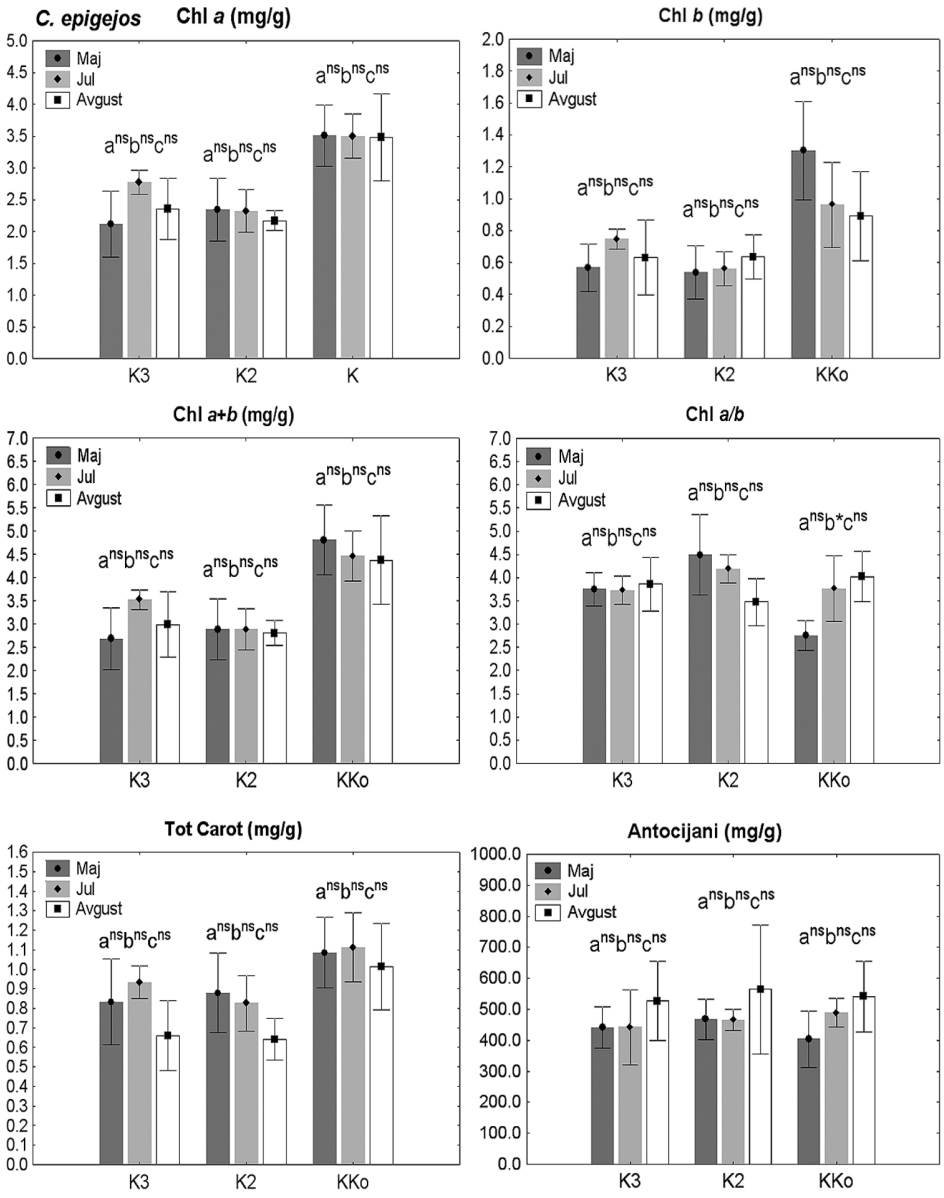
.

Tabela 58. Sadržaj pigmenata u listovima *C. epigejos* na kasetama različite starosti (K3 i K2) deponije pepela TENT-A u Obrenovcu i kontrolnom staništu (K_{Ko}).

Parametar		Chl *a* (mg/g)	Chl *b* (mg/g)	Chl *a+b* (mg/g)	Chl *a/b*	Tot Carot (mg/g)	Antocijani (mg/g)
Maj							
K3	M (SD) Min - Max	2.11 (0.518) a^{ns} 1.59 – 2.96	0.57 (0.149) a^{ns} 0.41 – 0.77	2.68 (0.660) a^{ns} 2.00 – 3.73	3.75 (0.362) $a^{ns}b^{ns}$ 3.39 – 4.27	0.83 (0.218) $a^{ns}b^{ns}$ 0.61 – 1.18	441.0 (66.271) $a^{ns}b^{ns}$ 356.5 – 521.7
K2	M (SD) Min – Max	2.34 (0.497) 1.84 – 3.09	0.54 (0.169) 0.36 – 0.79	2.88 (0.653) 2.28 – 3.88	4.49 (0.863) c*** 3.9 – 6.02	0.88 (0.203) c^{ns} 0.71 – 1.22	467.9 (64.437) c^{ns} 373.2 – 536.1
K_{Ko}	M (SD) Min - Max	3.50 (0.483) b***c*** 2.70– 3.80	1.30 (0.308) b***c*** 0.91 – 1.73	4.81 (0.759) b***c*** 3.62 – 5.54	2.75 (0.324) 2.21 – 3.04	1.08 (0.181) 0.88 – 1.28	404.12 (90.842) 301.6 – 536.6
Jul							
K3	M (SD) Min - Max	2.77 (0.189) $a^{ns}b^{ns}$ 2.54 – 2.99	0.75 (0.063) $a^{ns}b^{ns}$ 0.64 – 0.79	3.52 (0.220) a^{ns} 3.19 – 3.73	3.73 (0.299) $a^{ns}b^{ns}$ 3.34 – 4.04	0.93 (0.083) $a^{ns}b^{ns}$ 0.84 – 1.05	442.5 (120.916) $a^{ns}b^{ns}$ 312.3 – 636.1
K2	M (SD) Min - Max	2.32 (0.333) 1.86 – 2.79	0.56 (0.108) c^{ns} 0.41 – 0.71	2.88 (0.439) 2.27 – 3.50	4.19 (0.312) c^{ns} 3.90 – 4.60	0.83 (0.142) c^{ns} 0.68 – 1.06	466.20 (33.639) c^{ns} 425.8 – 512.0
K_{Ko}	M (SD) Min - Max	3.50 (0.349) c** 2.99 – 3.79	0.96 (0.265) 0.78 – 1.43	4.46 (0.532) b*c** 3.78 – 5.21	3.77 (0.705) 2.65 – 4.52	1.11 (0.177) 0.90 – 1.34	489.1 (47.132) 445.3 – 568.0
Avgust							
K3	M (SD) Min - Max	2.35 (0.482) a^{ns} 1.80 – 3.07	0.63 (0.236) $a^{ns}b^{ns}$ 0.46 – 1.04	2.99 (0.703) a^{ns} 2.27 – 4.11	3.87 (0.581) $a^{ns}b^{ns}$ 2.96 – 4.57	0.66 (0.179) $a^{ns}b^{ns}$ 0.44 – 0.94	526.6 (127.233) $a^{ns}b^{ns}$ 332.4 – 652.3
K2	M (SD) Min - Max	2.17 (0.161) 2.02 – 2.37	0.64 (0.138) c^{ns} 0.56 – 0.88	2.81 (0.269) 2.58 – 3.19	3.48 (0.507) c^{ns} 2.60 – 3.90	0.64 (0.107) c^{ns} 0.49 – 0.78	564.34 (207.231) c^{ns} 229.9 – 722.6
K_{Ko}	M (SD) Min - Max	3.48 (0.681) b**c** 2.56 – 4.38	0.89 (0.279) 0.62 – 1.29	4.37 (0.945) b*c** 3.19 – 5.67	4.02 (0.543) 3.39 – 4.67	1.01 (0.221) 0.73 – 1.27	541.4 (114.018) 365.9 – 641.2

dvofaktorska ANOVA, n=5, M (SD), Min – minimalne vrednosti, Max - maksimalne vrednosti; (a) K3-K2; (b) K3-K_{Ko}; (c) K2-K_{Ko}; * $p<0.05$; ** $p<0.01$; *** $p<0.001$, ns = nema značajnih razlika.

Tokom sezone, nije bilo značajnih razlika u količini Chl *a*, Chl *b*, Chl *a*+*b* i antocijana na K3, K2 i K_{Ko}. Odnos Chl *a/b* je samo na K_{Ko} bio manji u maju u odnosu na jul ($p<0.05$) (Slika 90).



Slika 90. Količina hlorofila (Chl *a*, Chl *b*, Chl *a*+*b*, Chl *a/b*), ukupnih karotenoida (Tot Carot) i antocijana u listovima *C. epigejos* na različitim staništima tokom sezone. Poređenja su sledeća: (a) Maj - Jul; (b) Maj - Avgust; (c) Jul – Avgust (dvofaktorska ANOVA, * $p<0.05$; ns = nema značajnih razlika).

F. rubra

Dvofaktorska analiza varijanse parametara hlorofila (Chl *b*, Chl *a+b*, Chl *a/b*), ukupnih karotenoida (Tot Carot) i antocijana u listovima *F. rubra* je pokazala da stanište ($p<0.05$; $p<0.01$; $p<0.001$) i sezona ($p<0.001$) imaju značajan efekat, ali je uticaj sezone veći. Na sadržaj Chl *a* u listovima značajno utiče stanište ($p<0.001$) i sezona ($p<0.001$), ali je efekat staništa veći (Tabela 59).

Tabela 59. Uticaj staništa i sezone na varijabilnost sadržaja pigmenata u listovima vrste *F. rubra*.

Parametar	**Stanište**		**Sezona**		**Stanište x Sezona**	
	F	**p**	**F**	**p**	**F**	**p**
Chl *a*	**21.084**	***	16.269	***	36.950	***
Chl *b*	11.538	***	**120.648**	***	12.182	***
Chl *a+b*	23.831	***	**48.933**	***	37.324	***
Chl *a/b*	4.092	*	**204.479**	***	9.666	***
Tot Carot	12.207	***	**51.875**	***	30.126	***
Antocijani	4.452	**	**12.927**	***	28.085	***

dvofaktorska ANOVA

Sadržaj **Chl *a*** i **Chl *a+b*** u listovima *F. rubra* je na K3 i K2 bio manji u maju ($p<0.001$; $p<0.001$; $p<0.001$; $p<0.001$) i avgustu ($p<0.01$; $p<0.01$; $p<0.01$; $p<0.01$) u odnosu na K_{Bb}, u julu je bio veći na K2 u odnosu na K_{Bb} ($p<0.001$; $p<0.001$) a samo u julu je bio veći na K3 u odnosu na K2 ($p<0.001$; $p<0.001$). Sadržaj **Chl *b*** u listovima je na K3 bio manji u maju u odnosu na K_{Bb} ($p<0.001$), u julu je bio veći u odnosu na K_{Bb} ($p<0.001$) veći na K2 u odnosu na K3 ($p<0.01$). Odnos **Chl *a/b*** je na K3 i K2 bio manji u maju ($p<0.05$; $p<0.05$) u odnosu na K_{Bb}, u julu manji samo na K3 ($p<0.05$) u odnosu na K_{Bb} a značajno veći opet u julu na K3 u odnosu na K2 ($p<0.001$). Sadržaj **Tot Carot** u listovima *F. rubra* je u maju na K3 i K2 bio manji ($p<0.001$; $p<0.001$), u julu veći ($p<0.05$; $p<0.001$) a u avgustu samo na K2 manji u odnosu na K_{Bb} ($p<0.001$). Nije bilo značajnih razlika u količini Tot Carot između K3 i K2 tokom sezone (Tabela 60).

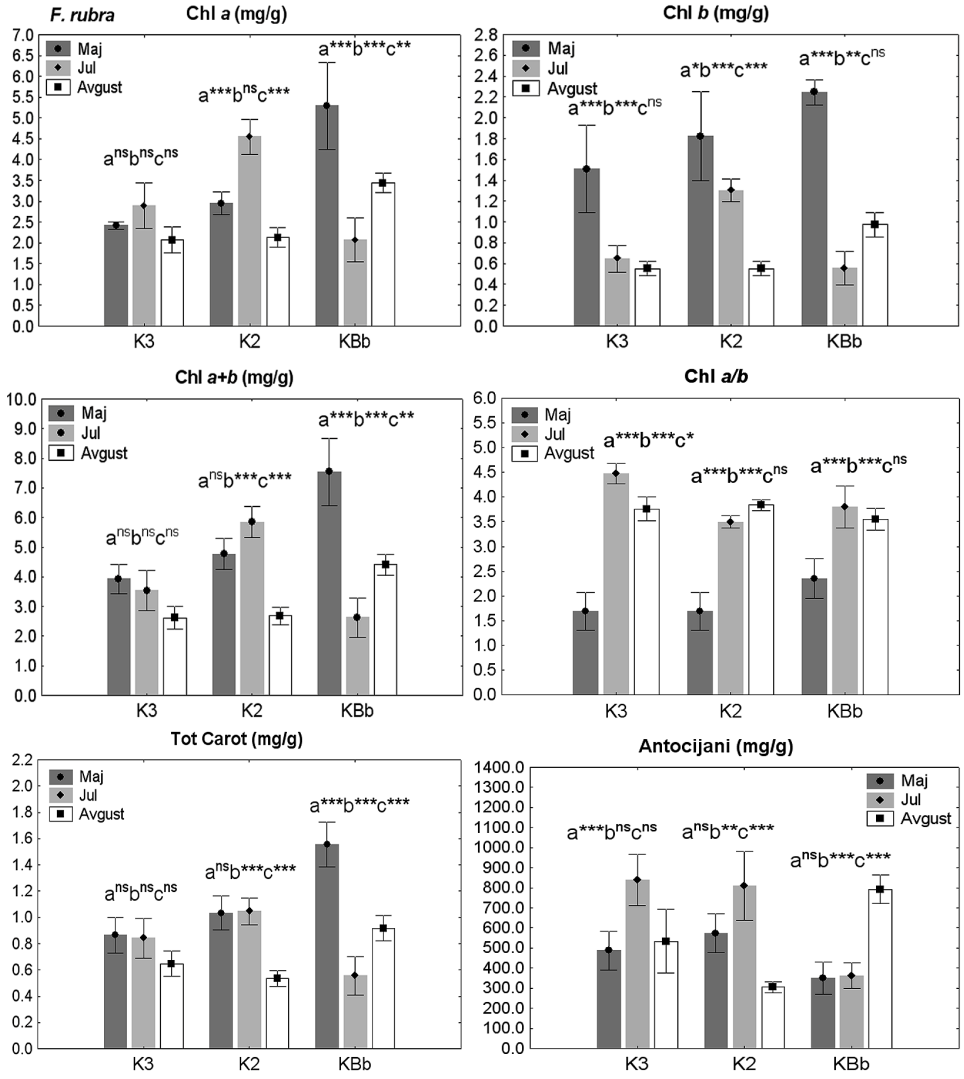
.

Tabela 60. Sadržaj pigmenata u listovima *F. rubra* na kasetama različite starosti (K3 i K2) deponije pepela TENT-A u Obrenovcu i kontrolnom staništu (K_{Bb}).

Parametar		Chl *a*(mg/g)	Chl *b* (mg/g)	Chl *a+b* (mg/g)	Chl *a/b*	Karotenoidi (mg/g)	Antocijani (mg/g)
Maj							
K3	M (SD) Min - Max	2.42 (0.089) a^{ns} 2.32 – 2.52	1.51 (0.419) a^{ns} 1.10 – 2.14	3.93 (0.495) a^{ns} 3.43 – 4.66	1.69 (0.381) a^{ns} 1.18 – 2.11	0.86 (0.134) a^{ns} 0.70 – 1.03	487.5 (97.721) $a^{ns}b^{ns}$ 384.7 – 603.5
K2	M (SD) Min – Max	2.95 (0.277) 2.7 – 3.35	1.82 (0.428) 1.35 – 2.39	4.77 (0.531) 4.05 – 5.27	1.69 (0.381) 1.18 – 2.11	1.03 (0.129) 0.91 – 1.19	573.1 (96.484) c^{ns} 503.3 – 737.3
K_{Bb}	M (SD) Min - Max	5.29 (1.049) b***c*** 3.66 – 6.37	2.24 (0.122) b***c^{ns} 2.13 – 2.41	7.54 (1.140) b***c*** 5.80 – 8.70	2.35 (0.398) b*c* 1.71 – 2.74	1.55 (0.171) b***c*** 1.27 – 1.69	350.2 (81.451) 243.1 – 455.6
Jul							
K3	M (SD) Min - Max	2.89 (0.547) b^{ns} 2.29 – 3.78	0.65 (0.130) b^{ns} 0.51 – 0.86	3.54 (0.672) b^{ns} 2.81 – 4.64	4.48 (0.207) a***b* 4.21 – 4.77	0.84 (0.151) a^{ns}b* 0.68 – 1.09	838.7(128.710)a^{ns}b*** 667.0 – 995.0
K2	M (SD) Min - Max	4.55 (0.421) a***c*** 4.07 – 5.22	1.30 (0.109) a**c*** 1.22 – 1.47	5.85 (0.519) a***c*** 5.29 – 6.68	3.50 (0.127) c^{ns} 3.34 – 3.64	1.05 (0.103) c*** 0.96 – 1.21	810.1 (172.13) c*** 625.8 – 992.8
K_{Bb}	M (SD) Min - Max	2.07 (0.527) 1.49 – 2.75	0.55 (0.162) 0.36 – 0.73	2.62 (0.675) 1.85 – 3.45	3.80 (0.428) 3.13 – 4.18	0.56 (0.147) 0.40 – 0.72	361.7 (64.148) 319.4 – 475.4
Avgust							
K3	M (SD) Min - Max	2.07 (0.315) a^{ns} 1.65 – 2.35	0.55 (0.069) $a^{ns}b^{ns}$ 0.48 – 0.64	2.62 (0.382) a^{ns} 2.12 – 2.98	3.76 (0.238) $a^{ns}b^{ns}$ 3.46 – 4.12	0.65 (0.098) $a^{ns}b^{ns}$ 0.52 – 0.75	534.2 (157.840) a^{ns}b* 334.9 – 749.3
K2	M (SD) Min - Max	2.13 (0.234) 1.83 - 2.35	0.55 (0.068) 0.46 – 0.61	2.68 (0.303) 2.28 – 2.95	3.84 (0.114) c^{ns} 3.70 – 4.00	0.54 (0.062) 0.45 – 0.59	305.5 (28.151) c*** 271.2 – 334.6
K_{Bb}	M (SD) Min - Max	3.44 (0.229) b**c** 3.14 – 3.70	0.97 (0.118) 0.87 – 1.10	4.41 (0.347) b**c** 4.01 – 4.80	3.55 (0.225) 3.30 – 3.86	0.92 (0.098) c*** 0.80 – 1.03	792.78 (71.541) 721. 3 – 904.1

dvofaktorska ANOVA, n=5, M (SD), Min – minimalne vrednosti, Max - maksimalne vrednosti; (a) K3-K2; (b) K3-K_{Bb}; (c) K2-K_{Bb}; * $p<0.05$; ** $p<0.01$; *** $p<0.001$, ns = nema značajnih razlika.

Sadržaj **antocijana** u listovima je na K3 i K2 bio veći u julu ($p<0.001$; $p<0.001$) i avgustu ($p<0.05$; $p<0.001$) u odnosu na K_{Bb} dok razlika između K3 i K2 nije bilo (Tabela 60). **Tokom sezone**, količina Chl *a* u listovima *F. rubra* se na K3 nije menjala. Sadržaj Chl *a* je na K2 u julu bio veći, a na K_{Bb} manji u odnosu na maj ($p<0.001$; $p<0.001$) i avgust ($p<0.01$). Sadržaj Chl *b* je na K3, K2 i K_{Bb} u maju bio veći u odnosu na jul ($p<0.001$; $p<0.05$; $p<0.001$) i avgust ($p<0.001$; $p<0.001$; $p<0.01$). Količina Chl *a+b* u listovima se na K3 nije značajno menjala tokom sezone (Slika 91).



Slika 91. Količina hlorofila (Chl *a*, Chl *b*, Chl *a+b*, Chl *a/b*), ukupnih karotenoida (Tot Carot) i antocijana u listovima *F. rubra* na različitim staništima tokom sezone. Poređenja su sledeća: (a) Maj - Jul; (b) Maj - Avgust; (c) Jul – Avgust (dvofaktorska ANOVA, * $p<0.05$; ** $p<0.01$; *** $p<0.001$, ns = nema značajnih razlika).

Najveća količina Chl *a*+*b* na K_{Bb} je bila u maju ($p<0.001$; $p<0.001$) dok je na K3, K2 i K_{Bb} u maju bio manji u odnosu na jul ($p<0.001$; $p<0.001$; $p<0.001$) i avgust ($p<0.001$; $p<0.001$; $p<0.001$). Na K2, sadržaj Chl *a*+*b* je u avgustu bio manji u odnosu na maj ($p<0.001$) i jul ($p<0.001$). Količina Tot Carot se nije značajno razlikovala na K3 tokom sezone. Na K2, sadržaj Tot Carot je u avgustu bio najmanji ($p<0.001$; $p<0.001$), dok je na K_{Bb} u maju bio najveći ($p<0.001$; $p<0.001$). Količina antocijana je u julu na K3 bila veća u odnosu na maj ($p<0.001$), dok je na K2 u avgustu bila najmanja ($p<0.01$; $p<0.001$), a na K_{Bb} najveća ($p<0.001$; $p<0.001$) (Slika 91).

D. glomerata

Dvofaktorska analiza varijanse parametara hlorofila (Chl *a*, Chl *b*, Chl *a*+*b*) i ukupnih karotenoida (Tot Carot) je pokazala da stanište ima dominantan efekat ($p<0.001$). Na odnos Chl *a/b* uticaj sezone je veći od staništa ($p<0.01$). Na sadržaj antocijana u listovima značajan efekat imaju stanište ($p<0.001$) i sezona ($p<0.001$), ali je efekat staništa veći (Tabela 61). Na različitim staništima postoji sličan sezonski trend promena količine Chl *a*, Chl *b*, Chl *a*+*b*, Tot Carot i antocijana u listovima (Tabela 61).

Tabela 61. Uticaj staništa i sezone na varijabilnost sadržaja pigmenata u listovima vrste *D. glomerata*.

Parametar	**Stanište**		**Sezona**		**Stanište x Sezona**	
	F	**p**	**F**	**p**	**F**	**p**
Chl *a*	**38.2809**	***	1.2096	ns	1.0557	ns
Chl *b*	**87.6898**	***	0.6822	ns	1.1574	ns
Chl *a+b*	**56.8389**	***	1.5228	ns	1.0188	ns
Chl *a/b*	0.512	ns	**19.240**	***	5.333	**
Tot Carot	**29.1632**	***	0.0747	ns	2.3717	ns
Antocijani	**47.4821**	***	28.3823	***	3.3809	ns

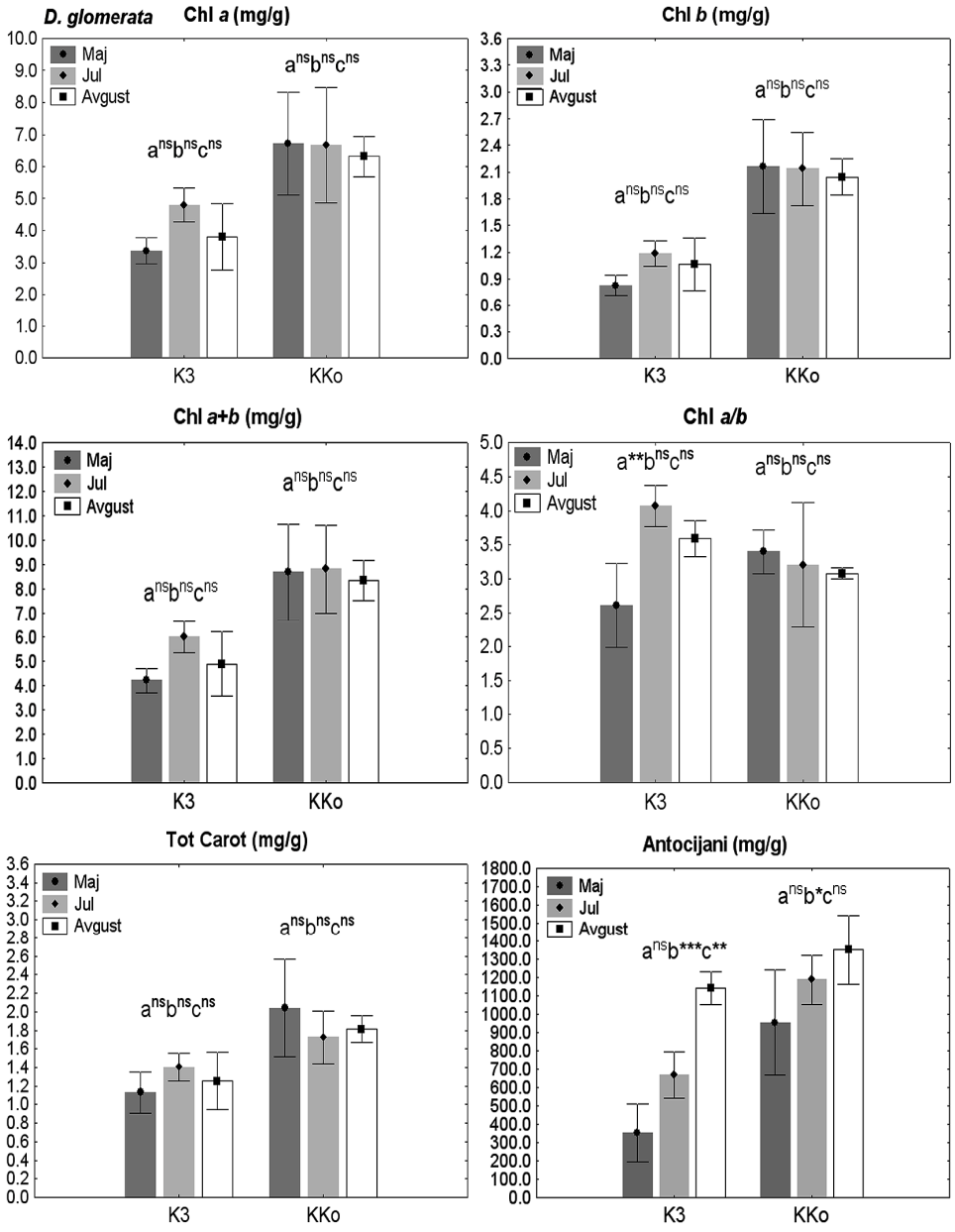
dvofaktorska ANOVA

Sadržaj **Chl *a***, **Chl *b*** i **Chl *a+b*** u listovima *D. glomerata* je na K3 bio značajno manji u maju ($p<0.001$; $p<0.001$; $p<0.001$), julu ($p<0.01$; $p<0.05$) i avgustu ($p<0.05$; $p<0.001$; $p<0.01$) u odnosu na K_{Ko}, izuzev kod Chl *a* u julu (Tabela 62).

Tabela 62. Sadržaj pigmenata u listovima *D. glomerata* na kaseti K3 deponije pepela TENT-A u Obrenovcu i kontrolnom staništu (K_{Ko}).

Parametar		Chl *a* (mg/g)	Chl *b* (mg/g)	Chl *a+b* (mg/g)	Chl *a/b*	Karotenoidi (mg/g)	Antocijani (mg/g)
Maj							
K3	M (SD)	3.37 (0.404)	0.828 (0.118)	4.20 (0.501)	2.61 (0.622) a^{ns}	1.13 (0.224)	353.2 (159.792)
	Min - Max	2.81 – 3.83	0.64 – 0.95	3.45 – 4.69	1.75 – 3.31	0.74 – 1.34	244.9 – 632.5
K_{Ko}	M (SD)	6.71 (1.607) a***	2.17 (0.526) a***	8.68 (1.962) a***	3.40 (0.320)	2.04 (0.528) a**	953.62 (287.449) a***
	Min - Max	5.25 – 8.99	1.54 – 2.84	6.81 – 11.48	2.85 – 3.64	1.42 – 2.83	549.2 – 1248.1
Jul							
K3	M (SD)	4.80 (0.535)	1.19 (0.142)	5.99 (0.651)	4.07 (0.301) a^{ns}	1.40 (0.151)	669.4 (127.276)
	Min - Max	4.19 – 5.62	0.98 – 1.31	5.17 – 6.92	3.59 – 4.34	1.23 – 1.61	555.1 – 863.4
K_{Ko}	M (SD)	6.67 (1.811) a^{ns}	2.14 (0.410) a***	8.81 (1.812) a*	3.21 (0.921)	1.73 (0.285) a^{ns}	1187.9 (133.113) a***
	Min - Max	4.36 – 8.59	1.57 – 2.70	6.73 – 10.85	1.61 – 3.85	1.27 – 1.94	991.1 – 1354.4
Avgust							
K3	M (SD)	3.80 (1.030)	1.07 (0.298)	4.87 (1.327)	3.59 (0.262) a^{ns}	1.25 (0.309)	1141.00 (88.103) a^{ns}
	Min - Max	2.54 – 4.89	0.66 – 1.39	3.21 – 6.28	3.17 – 3.84	0.88 – 1.58	1005.4 – 1250.5
K_{Ko}	M (SD)	6.31 (0.627) a*	2.04 (0.202) a***	8.36 (0.821) a**	3.08 (0.077)	1.81 (0.142) a^{ns}	1352.6 (191.275)
	Min - Max	5.53 – 7.27	1.82 – 2.37	7.36 – 9.64	3.00 – 3.19	1.61 – 1.99	1122.0 – 1629.1

dvofaktorska ANOVA, n=5, M (SD), Min – minimalne vrednosti, Max - maksimalne vrednosti; (a) K3-K_{Ko}; * $p<0.05$; ** $p<0.01$; *** $p<0.001$, ns = nema značajnih razlika.



Slika 91. Količina hlorofila (Chl *a*, Chl *b*, Chl *a+b*, Chl *a/b*), ukupnih karotenoida (Tot Carot) i antocijana u listovima *D. glomerata* na različitim staništima tokom sezone. Poređenja su sledeća: (a) Maj - Jul; (b) Maj - Avgust; (c) Jul – Avgust (dvofaktorska ANOVA, * $p<0.05$; ** $p<0.01$; *** $p<0.001$, ns = nema značajnih razlika).

Odnos **Chl *a/b*** se nije razlikovao između staništa. Sadržaj **Tot Carot** je na K3 samo u maju bio manji u odnosu na K_{Ko} ($p<0.01$). Količina **antocijana** je na K3 bila manja u maju ($p<0.001$) i julu ($p<0.01$) u odnosu na K_{Ko} (Tabela 62).

Tokom sezone, količina Chl *a*, Chl *b*, Chl *a+b* i Tot Carot se nije značajno razlikovala na K3 i K_{Ko}. Odnos Chl *a/b* je na K3 u julu bio veći u odnosu na maj ($p<0.01$). Količina antocijana u listovima *D. glomerata* je na K3 u avgustu bila veća u odnosu na maj ($p<0.001$) i jul ($p<0.001$), dok je na K_{Ko} u avgustu bila veća samo u odnosu na maj ($p<0.05$) (Slika 92).

O. biennis

Dvofaktorska analiza varijanse parametara hlorofila (Chl *a*, Chl *b*, Chl *a+b*) u listovima vrste *O. biennis* je pokazala da na njihov sadržaj značajno utiče stanište ($p<0.001$) i sezona ($p<0.01$; $p<0.001$), ali da je efekat staništa veći. Na odnos Chl *a/b* značajan efekat ima samo sezona ($p<0.001$). Na sadržaj ukupnih karotenoida (Tot Carot) značajno utiče stanište ($p<0.001$) i sezona ($p<0.001$), ali je uticaj staništa veći. Na sadržaj antocijana, stanište i sezona nemaju značajnog efekta (Tabela 63).

Tabela 63. Uticaj staništa i sezone na varijabilnost sadržaja pigmenata u listovima vrste *O. biennis*.

arametar	Stanište		Sezona		Stanište x Sezona	
	F	p	F	p	F	p
Chl *a*	**36.370**	***	6.087	**	11.908	***
Chl *b*	**21.551**	***	18.139	***	9.387	***
Chl *a+b*	**35.113**	***	9.479	***	12.303	***
Chl *a/b*	2.290	ns	**17.704**	***	2.923	*
Tot Carot	**57.742**	***	15.781	***	12.691	***
Antocijani	0.1293	ns	0.2050	ns	7.5152	***

dvofaktorska ANOVA

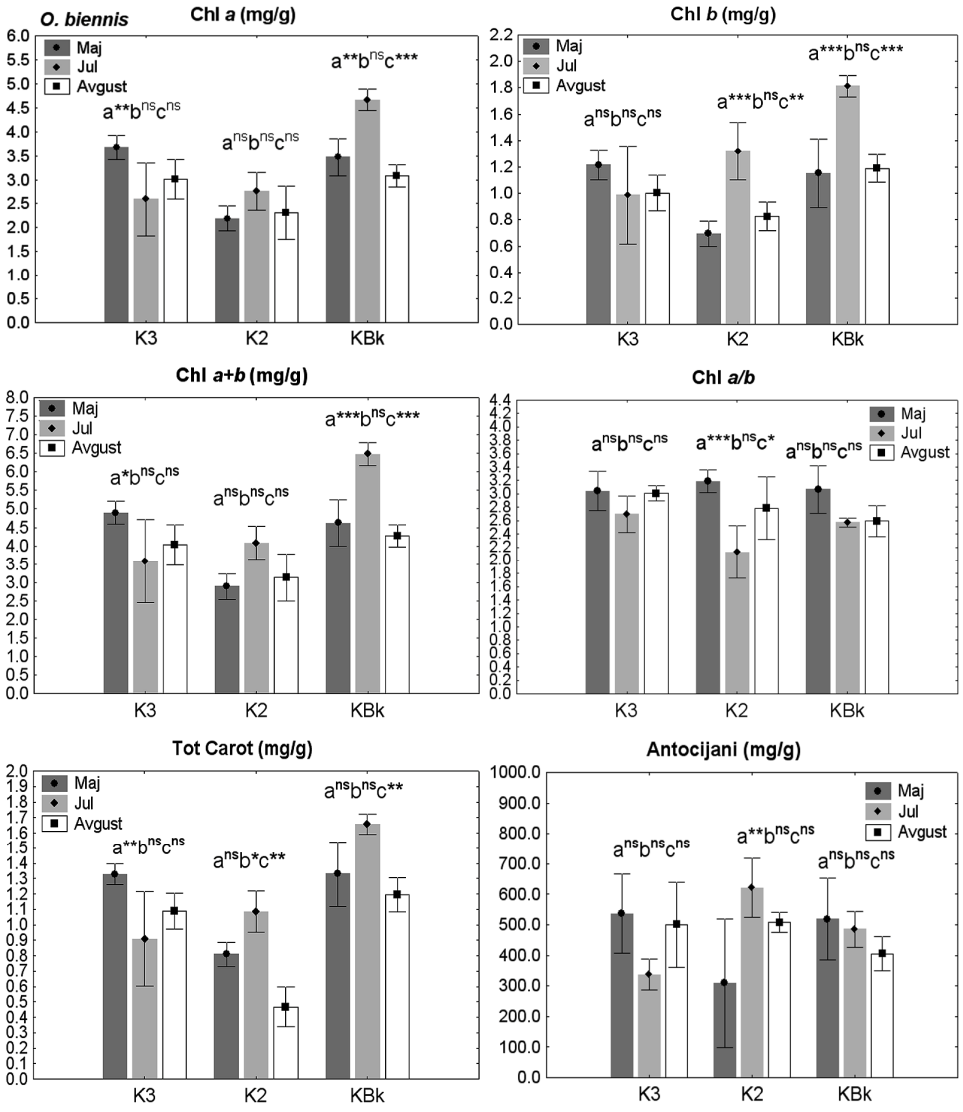
Sadržaj **Chl *a***, **Chl *b*** i **Chl *a+b*** u listovima *O. biennis* je na K2 u maju bio manji u odnosu na K_{Bk} ($p<0.01$; $p<0.05$; $p<0.01$), u julu je na K3 i K2 takođe bio manji u odnosu na K_{Bk} ($p<0.001$; $p<0.001$; $p<0.001$), dok u avgustu nije bilo razlika između staništa. Količina Chl *a*, Chl *b* i Chl *a+b* u listovima na K3 su maju bile veće u odnosu na K2 ($p<0.001$; $p<0.01$; $p<0.001$). Odnos **Chl *a/b*** se nije značajno razlikovao između staništa. Sadržaj **Tot Carot** u listovima je na K2 bio manji u maju ($p<0.001$) i avgustu ($p<0.001$) u odnosu na K_{Bk}, dok je u julu bio manji na K3 i K2 ($p<0.001$; $p<0.001$) takođe u odnosu na K_{Bk}. Količina Tot Carot je na K3 bila veća u odnosu na K2 u maju ($p<0.001$) i avgustu ($p<0.001$) (Tabela 64).

Tabela 64. Sadržaj pigmenata u listovima *O. biennis* na kasetama različite starosti (K3 i K2) deponije pepela TENT-A u Obrenovcu i kontrolnom staništu (K_{Bk}).

Parametar		Chl *a*(mg/g)	Chl *b* (mg/g)	Chl *a+b* (mg/g)	Chl *a/b*	Karotenoidi (mg/g)	Antocijani (mg/g)
Maj							
K3	M (SD) Min - Max	3.77 (0.153) a***b^{ns} 3.55 – 3.89	1.22 (0.128) a**b^{ns} 1.14 – 1.41	5.00 (0.223) a***b^{ns} 4.76 – 5.30	3.11 (0.290) a^{ns}b^{ns} 2.77 – 3.37	1.35 (0.059) a***b^{ns} 1.27 – 1.41	498.82(114.339)a^{ns}b^{ns} 361.1 – 600.6
K2	M (SD) Min – Max	2.19 (0.257) 1.74 – 2.37	0.69 (0.098) 0.53 – 0.79	2.89 (0.349) 2.27 – 3.11	3.19 (0.172) c^{ns} 2.90 – 3.33	0.81 (0.079) 0.67 – 0.86	309.2 (209.597) 111.6 – 550.2
K_{Bk}	M (SD) Min - Max	3.47 (0.385) c** 3.06 – 3.99	1.15 (0.258) c* 0.91 – 1.59	4.62 (0.624) c** 3.97 – 5.58	3.07 (0.358) 2.51 – 3.35	1.33 (0.211) c*** 1.07 – 1.57	518.7 (133.146) 371.5 – 659.0
Jul							
K3	M (SD) Min - Max	2.59 (0.765) a^{ns} 1.93 – 3.50	0.99 (0.368) a^{ns} 0.65 – 1.49	3.58 (1.129) a^{ns} 2.58 – 4.99	2.70 (0.271) a^{ns}b^{ns} 2.34 – 3.00	0.91 (0.307) a^{ns} 0.63 – 1.31	337.30 (51.661) 264.0 – 383.5
K2	M (SD) Min - Max	2.76 (0.396) 2.42 – 3.29	1.32 (0.216) 1.05 – 1.65	4.08 (0.452) 3.47 – 4.61	2.13 (0.397) c^{ns} 1.47 – 2.49	1.09 (0.133) 0.93 – 1.27	621.7 (95.877) a** 504.3 – 769.2
K_{Bk}	M (SD) Min - Max	4.66 (0.229) b***c*** 4.37 – 4.99	1.81 (0.080) b***c** 1.74 – 1.94	6.48 (0.301) b***c*** 6.11 – 6.93	2.57 (0.066) 2.51 – 2.68	1.66 (0.068) b***c*** 1.60 – 1.76	485.5 (57.93) b^{ns}c^{ns} 418.3 – 561.2
Avgust							
K3	M (SD) Min - Max	3.02 (0.413) a^{ns}b^{ns} 2.57 – 3.49	1.00 (0.138) a^{ns}b^{ns} 0.90 – 1.20	4.02 (0.545) a^{ns}b^{ns} 3.47 – 4.69	3.01 (0.114) a^{ns}b^{ns} 2.87 – 3.13	1.09 (0.117) a***b^{ns} 0.96 – 1.23	500.6 (138.613) a^{ns}b^{ns} 327.3 – 673.6
K2	M (SD) Min - Max	2.31 (0.559) c^{ns} 1.74 – 2.96	0.83 (0.111) c^{ns} 0.66 – 0.95	3.13 (0.645) c^{ns} 2.43 – 3.91	2.78 (0.468) c^{ns} 2.19 – 3.38	0.47 (0.131) 0.37 – 0.66	507.7 (32.288) c^{ns} 465.0 – 535.7
K_{Bk}	M (SD) Min - Max	3.08 (0.238) 2.80 – 3.44	1.19 (0.106) 1.10 – 1.32	4.27 (0.292) 3.92 – 4.73	2.60 (0.232) 2.23 – 2.80	1.19 (0.109) c*** 1.08 – 1.35	404.9 (56.316) 327.2 – 472.2

dvofaktorska ANOVA, n=5, M (SD), Min – minimalne vrednosti, Max - maksimalne vrednosti; (a) K3-K2; (b) K3-K_{Bk}; (c) K2-K_{Bk}; * $p<0.05$; ** $p<0.01$; *** $p<0.001$, ns = nema značajnih razlika.

Tokom sezone, količina Chl *a* i Chl *a+b* u listovima je na K3 u maju bila veća u odnosu na jul ($p<0.01$; $p<0.05$), na K2 nije bilo značajnih razlika, a na K_{Bk} je u julu bila veća u odnosu na maj ($p<0.01$; $p<0.001$) i avgust ($p<0.001$; $p<0.001$). Količina Chl *b* u listovima se na K3 nije značajno razlikovala tokom sezone, dok je na K2 i K_{Bk} u julu bila veća u odnosu na maj ($p<0.001$) i avgust ($p<0.001$). Odnos Chl *a/b* je na K2 u julu bio značajno manji u odnosu na maj ($p<0.001$) i avgust ($p<0.05$) (Slika 93).



Slika 93. Količina hlorofila (Chl *a*, Chl *b*, Chl *a+b*, Chl *a/b*), ukupnih karotenoida (Tot Carot) i antocijana u listovima *O. biennis* na različitim staništima tokom sezone. Poređenja su sledeća: (a) Maj - Jul; (b) Maj - Avgust; (c) Jul – Avgust (dvofaktorska ANOVA, * $p<0.05$; ** $p<0.01$; *** $p<0.001$, ns = nema značajnih razlika).

Količina Tot Carot u listovima na K3 u maju bila veća u odnosu na jul ($p<0.01$), na K2 je u avgustu bila najveća ($p<0.05$; $p<0.01$), dok je na K_{Bk} u avgustu bila značajno veća u odnosu na jul ($p<0.01$). Na K2 količina antocijana u julu bila značajno veća u odnosu na maj ($p<0.01$) (Slika 93).

U listovima ***C. epigejos***, sadržaj Chl *a*, Chl *b*, Chl *a+b* i Tot Carot je na K3 i K2 bio manji u odnosu na kontrolno stanište, ali je odnos Chl *a/b* bio najveći na K2. Međutim, nije bilo razlika između staništa u pogledu količine antocijana. Nisu bile utvrđene sezonske razlike u količini hlorofila, karotenoida i antocijana na ispitivanim staništima.

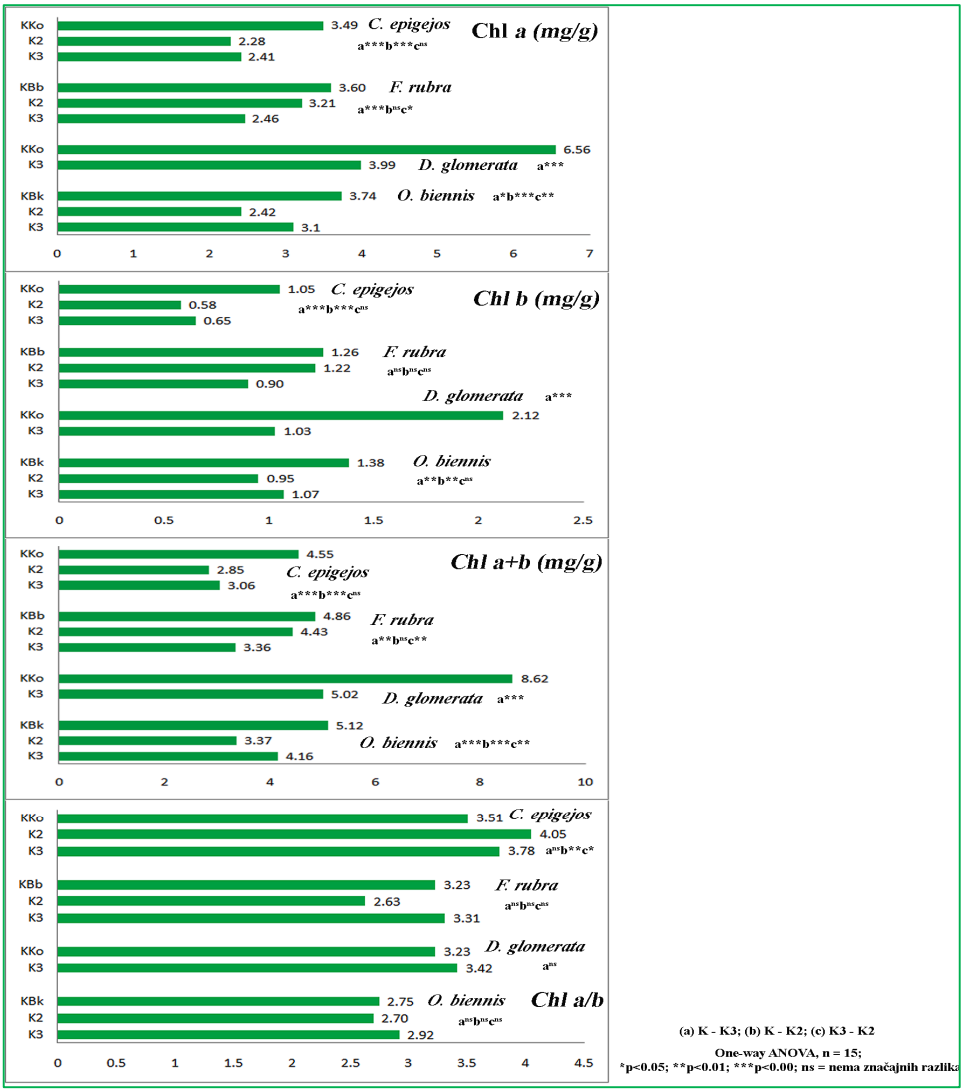
U listovima ***F. rubra*,** količina Chl *a*, Chl *b*, i Chl *a+b*, kao i odnos Chl *a/b* su varirali na staništima. Na K3 i K2 količina Tot Carot u listovima ove vrste je bila manja, dok je antocijana bila veća u odnosu na kontrolno stanište. Tokom sezone, kod ove vrste na K3 nisu bile utvrđene značajne razlike u količini Chl *a*, Chl *a+b* i Tot Carot, dok se odnos Chl *a/b* i količina antocijana održavala visokom tokom leta. Na K2, u listovima *F. rubra* sadržaj Chl *a*, Chl *b*, Chl *a+b* i odnos Chl *a/b* je bio velik sredinom i krajem leta, dok je količina Tot Carot i antocijana bila najmanja krajem leta.

U listovima ***D. glomerata***, količina Chl *a*, Chl *b*, Chl *a+b*, Tot Carot i antocijana je bila manja na K3 u odnosu na kontrolno stanište, dok značajnih razlika nije bilo u vrednostima Chl *a/b* između staništa. Tokom sezone nisu bile utvrđene razlike u količina hlorofila i karotenoida, dok su vrednosti Chl *a/b* i antocijana bile velike tokom leta.

U listovima ***O. biennis*** količina Chl *a*, Chl *b*, Chl *a+b* i Tot Carot je bila manja na K3 i K2 u odnosu na kontrolno stanište, dok značajnih razlika u odnosu Chl *a/b* i količini antocijana nije bilo između staništa. Na K3, količina Chl *a*, Chl *a+b* i Tot Carot se smanjivala tokom leta, dok se odnos Chl *a/b* i količina Chl *b* i antocijana održavala visokom tokom leta. Međutim, na K2 u listovima *O. biennis* nisu utvrđene razlike u količini Chl *a* i Chl *a+b*.

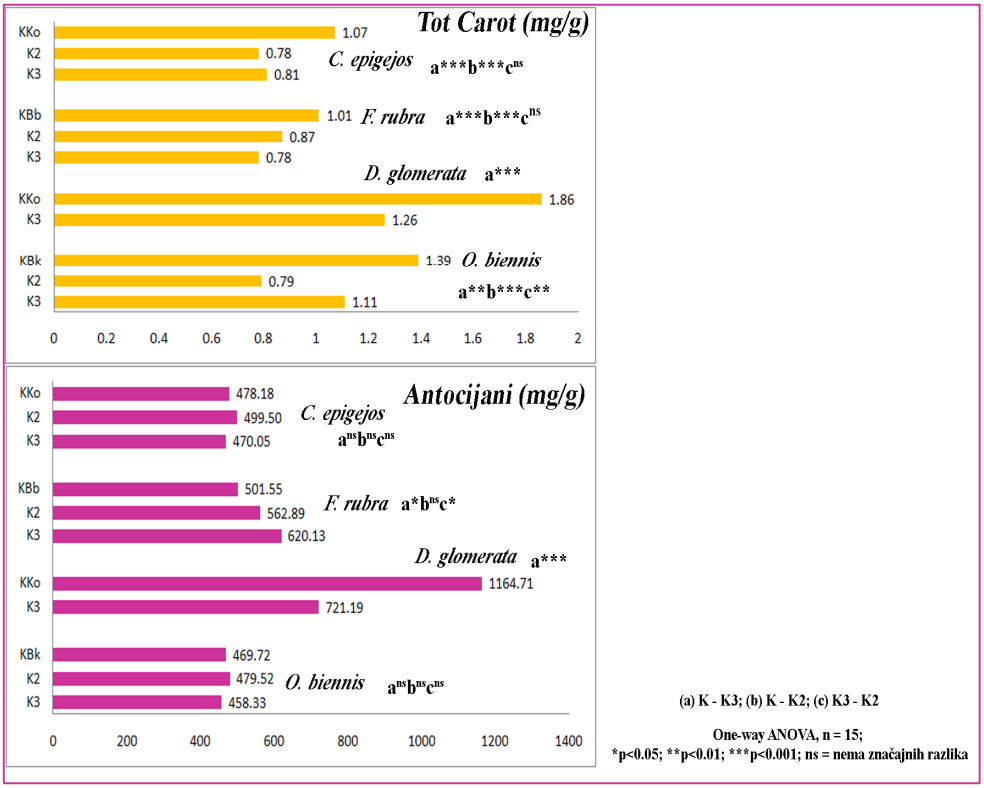
5.5.4. Prosečan godišnji sadržaj pigmenata u listovima ispitivanih biljaka

Količina Chl *a* i Chl *a+b* je kod *C. epigejos*, *F. rubra*, *D. glomerata* i *O. biennis* na deponiji pepela bila manja u odnosu na kontrolna staništa, osim kod *F. rubra* na K2. **Sadržaj Chl *b*** je kod svih vrsta na deponiji pepela bio manji u odnosu na kontrolno stanište, izuzev kod *F. rubra* na K2. **Odnos Chl *a/b*** je kod *C. epigejos* na K2 bio veći u odnosu na kontrolno stanište, dok se kod ostalih vrsta nije značajno razlikovao između deponije pepela i kontrolnih staništa (Slika 94).



Slika 94. Prosečne godišnje koncentracije hlorofila (Chl *a*, Chl *b*, Chl *a*+*b*, Chl *a/b*) u listovima *C. epigejos*, *F. rubra*, *D. glomerata* i *O. biennis* na kontrolnim staništima (K_{Ko}, K_{Bb} i K_{Bk}) i kasetama različite starosti (K3 i K2) deponije pepela TENT-A u Obrenovcu.

Sadržaj Tot Carot u listovima je kod *C. epigejos*, *F. rubra*, *D. glomerata* i *O. biennis* na svim deponijama pepela bio manji u odnosu na kontrolna staništa. **Količina antocijana** u listovima *C. epigejos* i *O. biennis* se nije značajno razlikovala između deponija pepela i kontrolnih staništa, dok je kod *F. rubra* na K3 bila veća, a kod *D. glomerata* manja u odnosu na kontrolna staništa (Slika 95).



Slika 95. Prosečne godišnje koncentracije ukupnih karotenoida (Tot Carot) i antocijana u listovima *C. epigejos*, *F. rubra*, *D. glomerata* i *O. biennis* tokom sezone na kontrolnim staništima (K_{Ko}, K_{Bb} i K_{Bk}) i kasetama različite starosti (K3 i K2) deponije pepela TENT-A u Obrenovcu.

Dvofaktorska analiza varijanse parametara hlorofila (Chl *a*, Chl *b*, Chl *a*+*b*), ukupnih karotenoida (Tot Carot) i antocijana u listovima ispitivanih vrsta na **kontrolnim staništima** je pokazala da značajne razlike u količini pigmenata postoje u odnosu na vrstu ($p<0.001$; $p<0.001$; $p<0.001$; $p<0.001$; $p<0.001$) i sezonu ($p<0.05$; $p<0.001$; $p<0.01$; $p<0.01$; $p<0.001$; $p<0.001$), ali da veći uticaj na varijabilnost količine pigmenata ima vrsta biljke (Tabela 65).

Tabela 65. Uticaj vrste biljaka i sezone na varijabilnost količine hlorofila (Chl *a*, Chl *b*, Chl *a*+*b*, Chl *a/b*), ukupnih karotenoida (Tot Carot) i antocijana u listovima ispitivanih vrsta biljaka na kontrolnim staništima.

Parametar	Vrsta		Sezona		Vrsta x Sezona	
	F	p	F	p	F	p
Chl *a*	**45.045**	***	3.374	*	6.528	***
Chl *b*	**44.481**	***	14.997	***	17.185	***
Chl *a+b*	**54.216**	***	6.143	**	10.778	***
Chl *a/b*	**7.525**	***	6.155	**	7.438	***
Tot Carot	**44.434**	***	8.432	***	8.258	***
Antocijani	**104.404**	***	14.444	***	6.363	***

dvofaktorska ANOVA

Dvofaktorska analiza varijanse parametara Chl *a* i Chl *b* u listovima ispitivanih vrsta na **K3** je pokazala da značajne razlike u količini pigmenata postoje između ispitivanih vrsta biljaka ($p<0.001$; $p<0.001$) i sezone ($p<0.001$; $p<0.01$), ali da veći uticaj na varijabilnost sadržaja ovih pigmenata u listovima ima vrsta biljke. Na sadržaj Chl *a*+*b* i Tot Carot dominantan uticaj ima vrsta biljke ($p<0.001$; $p<0.001$). Na količinu antocijana u listovima identičan uticaj ima vrsta biljke i sezona ($p<0.001$) (Tabela 66).

Tabela 66. Uticaj vrste biljaka i sezone na varijabilnost količine hlorofila (Chl *a*, Chl *b*, Chl *a*+*b*, Chl *a/b*), ukupnih karotenoida (Tot Carot) i antocijana u listovima ispitivanih vrsta biljaka na K3.

Parametar	Vrsta		Sezona		Vrsta x Sezona	
	F	p	F	p	F	p
Chl *a*	**29.666**	***	4.252	***	5.397	***
Chl *b*	**11.271**	***	5.084	**	10.088	***
Chl *a+b*	**23.416**	***	2.890	ns	5.455	***
Chl *a/b*	15.038	***	**41.852**	***	21.469	***
Tot Carot	**23.477**	***	2.710	ns	3.702	**
Antocijani	**16.416**	***	**16.779**	***	18.132	***

dvofaktorska ANOVA

Dvofaktorska analiza varijanse parametara Chl *a* u listovima ispitivanih vrsta na **K2** je pokazala da isti uticaj ima vrsta biljke i sezona ($p<0.001$). Značajan uticaj na količinu Chl *b*, Chl *a+b* i odnos Chl *a/b* ima vrsta biljke ($p<0.001$; $p<0.001$; $p<0.001$) i sezona ($p<0.001$; $p<0.001$; $p<0.05$), ali je efekat vrste veći. Na sadržaj Tot Carot i antocijana u listovima najviše utiče vrsta biljke (Tabela 67).

Tabela 67. Uticaj vrste biljaka i sezone na varijabilnost količine hlorofila (Chl *a*, Chl *b*, Chl *a+b*, Chl *a/b*), ukupnih karotenoida (Tot Carot) i antocijana u listovima ispitivanih vrsta biljaka na K2.

Parametar	**Vrsta**		**Sezona**		**Vrsta x Sezona**	
	F	**p**	**F**	**p**	**F**	**p**
Chl *a*	**27.794**	***	**29.341**	***	14.753	***
Chl *b*	**43.324**	***	18.733	***	26.247	***
Chl *a+b*	**42.074**	***	31.688	***	16.542	***
Chl *a/b*	**35.581**	***	4.366	*	32.007	***
Tot Carot	2.323	ns	**50.27**	***	5.081	**
Antocijani	1.8002	ns	**10.0534**	***	9.5199	***

dvofaktorska ANOVA

S obzirom da na varijabilnost količine pigmenata u listovima dominantan efekat ima vrsta biljke, korišćena je jednofaktorska ANOVA gde je sezona (maj, jul i avgust) pulirana i time je dobijena prosečna količina pigmenata u listovima biljaka tokom sezone, kako bi se procenile razlike između ispitivanih vrsta biljaka na svakom staništu pojedinačno (Tabela 68).

Analiza je pokazala da se na **kontrolnim staništima** vrsta *D. glomerata* odlikuje najvećom količinom Chl *a*, Chl *b*, Chl *a+b*, Tot Carot i antocijana u listovima, dok značajnih razlika u sadržaju pigmenata između *C. epigejos*, *F. rubra* i *O. biennis* uglavnom nije bilo. Odnos Chl *a/b* je bio najmanji kod *F. rubra* u odnosu na ostale vrste.

Na **K3**, količina Chl *a* i Chl *a+b* je bila najveća kod *D. glomerata*, manja kod *O. biennis*, a najmanja kod *C. epigejos* i *F. rubra.* Količina Chl *b* i Tot Carot u listovima je bila najveća kod *D. glomerata* i *O. biennis*, a najmanja kod *C. epigejos* i *F. rubra*. Odnos Chl *a/b* je i na K3 takođe bio manji kod *O. biennis* u odnosu na ostale vrste.

Količina antocijana u listovima je bila najveća kod *D. glomerata*, manja kod *F. rubra* i *C. epigejos*, a najmanja kod *O. biennis*.

Na **K2**, sađena vrsta *F. rubra* se odlikuje većom količinom Chl *a* u odnosu na *C. epigejos* i *O. biennis*. Količina Chl *b* i Chl *a+b* je bila najveća kod *F. rubra*, manja kod *O. biennis* i najmanja kod *C. epigejos*. Odnos Chl *a/b* je na kontrolnim staništima i K3 bio najveći kod *C. epigejos* u odnosu na *O. biennis* i *F. rubra*. Međutim, nisu bile utvrđene značajne razlike u količini Tot Carot i antocijana u listovima sve tri vrste na K2.

Tabela 68. Razlike u količini pigmenata (hlorofila, karotenoida i antocijana) između ispitivanih biljaka na različitim staništima.

	Kontrolna staništa (K_{Ko}, K_{Bb}, K_{Bk})					**K3**					**K2**			
Vrsta	**M (SD)**	***C. epigejos***	***F. rubra***	***D. glomerata***	***O. biennis***	**M (SD)**	***C. epigejos***	***F. rubra***	***D. glomerata***	***O. biennis***	**M (SD)**	***C. epigejos***	***F. rubra***	***O. biennis***
Chl *a* (mg/g)														
C. epigejos	3.49 (0.483)	-	ns	***	ns	2.41 (0.482)	-	ns	***	**	2.28 (0.340)	-	**	ns
F. rubra	3.60 (1.510)	ns	-	***	ns	2.46 (0.488)	ns	-	***	**	3.21 (1.080)	**	-	**
D. glomerata	6.56 (1.350)	***	***	-	***	3.99 (0.907)	***	***	-	**	/	/	/	/
O. biennis	3.74 (0.750)	ns	ns	***	-	3.10 (0.670)	**	**	**	-	2.42 (0.465)	ns	**	-
Chl *b* (mg/g)														
C. epigejos	1.05 (0.322)	-	ns	***	**	0.65 (0.171)	-	ns	***	***	0.58 (0.137)	-	***	***
F. rubra	1.26 (0.354)	ns	-	***	ns	0.90 (0.505)	ns	-	ns	ns	1.22 (0.290)	***	-	ns
D. glomerata	2.12 (0.377)	***	***	-	***	1.03 (0.243)	***	ns	-	ns	/	/	/	/
O. biennis	1.38 (0.349)	**	ns	***	-	1.07 (0.244)	***	ns	ns	-	0.95 (0.312)	***	ns	-
Chl *a+b* (mg/g)														
C. epigejos	4.55 (0.734)	-	ns	***	ns	3.06 (0.639)	-	ns	***	***	2.85 (0.446)	-	***	*
F. rubra	4.86 (2.226)	ns	-	***	ns	3.36 (0.753)	ns	-	***	**	4.43 (1.426)	***	-	**
D. glomerata	8.62 (1.506)	***	***	-	***	5.02 (1.131)	***	***	-	*	/	/	/	/
O. biennis	5.12 (1.079)	ns	ns	***	-	4.16 (0.893)	***	**	*	-	3.37 (0.703)	*	**	-
Chl *a/b*														
C. epigejos	3.51 (0.761)	-	*	ns	**	3.78 (0.404)	-	ns	ns	***	4.05 (0.212)	-	***	***
F. rubra	2.85 (0.734)	*	-	ns	ns	3.31 (1.253)	ns	-	ns	ns	2.63 (1.253)	***	-	ns
D. glomerata	3.23 (0.540)	ns	ns	-	**	3.42 (0.744)	ns	ns	-	*	/	/	/	/
O. biennis	2.75 (0.330)	**	ns	**	-	2.92 (0.275)	***	ns	*	-	2.70 (0.569)	***	ns	-

Tot Carot (mg/g)														
C. epigejos	1.07 (0.185)	-	ns	***	***	0.81 (0.196)	-	ns	***	**	0.78 (0.179)	-	ns	ns
F. rubra	1.01 (0.147)	ns	-	***	**	0.78 (0.156)	ns	-	***	***	0.87 (0.163)	ns	-	ns
D. glomerata	1.86 (0.357)	***	***	-	***	1.26 (0.248)	***	***	-	ns	/	/	/	/
O. biennis	1.39 (0.240)	***	**	***	-	1.11 (0.252)	**	***	ns	-	0.79 (0.310)	ns	ns	-
Antocijani (mg/g)														
C. epigejos	478.18 (100.666)	-	ns	***	ns	470.05 (108.489)	-	**	**	ns	499.5 (126.626)	-	ns	ns
F. rubra	501.55 (123.589)	ns	-	***	ns	620.13 (101.377)	**	-	ns	**	562.89 (238.472)	ns	-	ns
D. glomerata	1164.71 (260.456)	***	***	-	***	721.19 (355.550)	**	ns	-	**	/	/	/	/
O. biennis	469.72 (96.846)	ns	ns	***	-	458.33 (138.658)	ns	**	**	-	479.52 (182.588)	ns	ns	-

Jednofaktorska ANOVA, M (SD), n=15, *p<0.05; ** p<0.01; **p<0.01; *** p<0.001, ns = nema značajnih razlika.

5.6. SADRŽAJ MALONDIALDEHIDA (MDA) U LISTOVIMA ISPITIVANIH BILJAKA

5.6.1. Sezonska dinamika sadržaja malondialdehida (MDA) u listovima ispitivanih biljaka

C. epigejos

Dvofaktorska analiza varijanse parametra MDA u listovima vrste *C. epigejos* je pokazala da na varijabilnost ovog parametra sezona ($p<0.01$) ima veći uticaj od staništa ($p<0.01$) (Tabela 69).

Tabela 69. Uticaj staništa i sezone na varijabilnost sadržaja MDA u listovima vrste *C. epigejos*.

Parametar	**Stanište**		**Sezona**		**Stanište x Sezona**	
	F	**p**	**F**	**p**	**F**	**p**
MDA	6.130	**	**6.263**	**	3.520	**

dvofaktorska ANOVA

Količina **MDA** u listovima *C. epigejos* je u maju bila značajno veća na K2 u odnosu na K_{Ko} ($p<0.01$), dok u julu i avgustu nisu bile utvrđene značajne razlike u količini između staništa (Tabela 73).

Nisu bile utvrđene sezonske razlike u količini MDA na ispitivanim staništima (Slika 96).

F. rubra

Dvofaktorska analiza varijanse parametra MDA u listovima vrste *F. rubra* je pokazala da na varijabilnost ovog parametra značajno utiče stanište ($p<0.001$) i sezona ($p<0.01$), ali je uticaj sezone veći (Tabela 70).

Tabela 70. Uticaj staništa i sezone na varijabilnost sadržaja MDA u listovima vrste *F. rubra*.

Parametar	Stanište		Sezona		Stanište x Sezona	
	F	p	F	p	F	p
MDA	44.7031	***	**97.4793**	***	43.1492	***

dvofaktorska ANOVA

Sadržaj **MDA** u listovima *F. rubra* je u maju bio značajno veći na K3 i K2 u odnosu na K_{Bb} ($p<0.001$; $p<0.001$). Takođe je u maju bila zabeležena veća količina na K3 u odnosu na K2 ($p<0.001$). U julu i avgustu nije bilo razlike u količini MDA na staništima (Tabela 73).

Tokom sezone, količina MDA je na K3 i K2 u maju bila veća u odnosu na jul ($p<0.001$; $p<0.001$) i avgust ($p<0.001$; $p<0.001$). Na K_{Bb} nisu utvrđene razlike u količini tokom sezone (Slika 96).

D. glomerata

Dvofaktorska analiza varijanse parametra MDA u listovima vrste *D. glomerata* je pokazala značajan uticaj staništa ($p<0.01$) i sezone ($p<0.001$), ali je uticaj sezone veći (Tabela 71).

Tabela 71. Uticaj staništa i sezone na varijabilnost sadržaja MDA u listovima vrste *D. glomerata*.

Parametar	Stanište		Sezona		Stanište x Sezona	
	F	p	F	p	F	p
MDA	8.0025	**	**15.4944**	***	1.9491	ns

dvofaktorska ANOVA

U maju, julu i avgustu nisu utvrđene razlike u količini između različitih staništa (Tabela 73).

Tokom sezone, na K3, količina MDA u listovima je bila značajno veća u maju u odnosu na jul ($p<0.001$) i avgust ($p<0.001$). Na K_{Ko}, nisu zabeležene razlike u količini tokom sezone (Slika 96).

O. biennis

Dvofaktorska analiza varijanse parametra MDA u listovima vrste *O. biennis* je pokazala da značajan uticaj ima samo stanište ($p<0.001$) (Tabela 72).

Tabela 72. Uticaj staništa i sezone na varijabilnost sadržaja MDA u listovima vrste *O. biennis*.

Parametar	**Stanište**		**Sezona**		**Stanište x Sezona**	
	F	**p**	**F**	**p**	**F**	**p**
MDA	**12.1296**	***	2.9945	ns	1.8366	ns

dvofaktorska ANOVA

Količina **MDA** u listovima *O. biennis* je na K2 bila značajno veća u odnosu na K_{Bk} ($p<0.05$), dok u maju i julu nisu bile zabeležene razlike u sadržaju između staništa (Tabela 73).

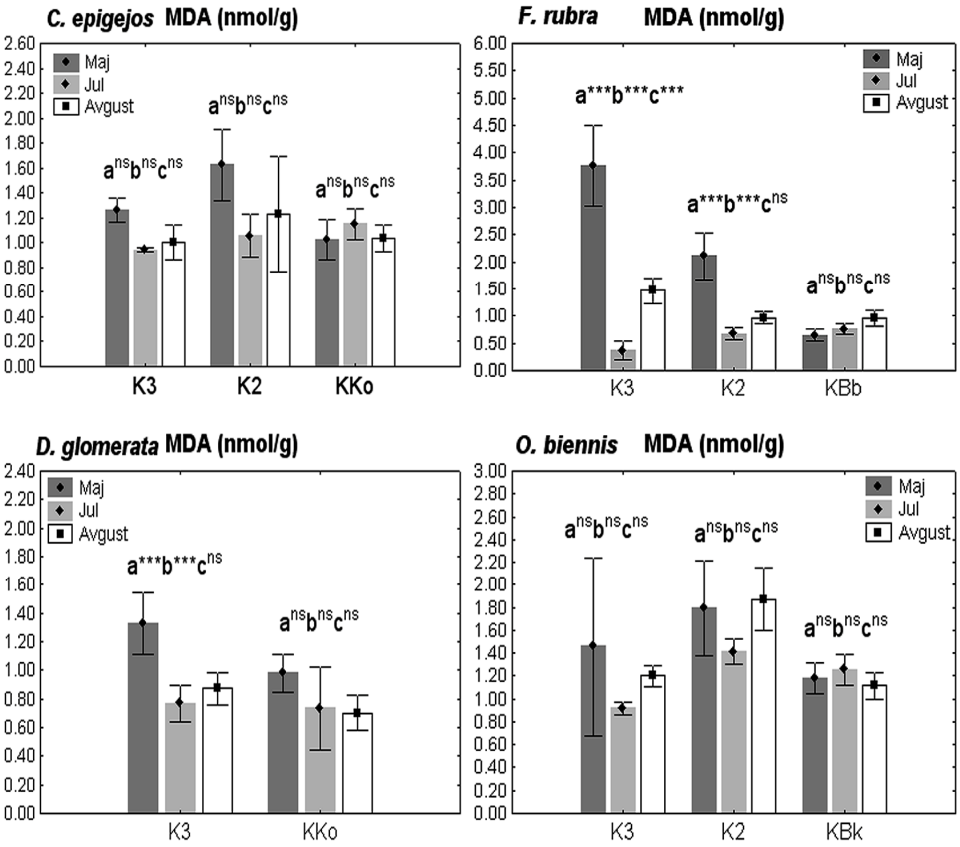
Tokom sezone, nisu utvrđene značajne razlike u količini kod *O. biennis* na K3, K2 i K_{Bk} (Slika 96).

.

Tabela 73. Sadržaj MDA (nmol/g) u listovima *C. epigejos*, *F. rubra*, *D. glomerata* i *O. biennis* na kasetama različite starosti (K3 i K2) deponije pepela TENT-A u Obrenovcu i kontrolnim staništima (K_{Ko}, K_{Bb} i K_{Bk}).

	C. epigejos		***F. rubra***		***D. glomerata***		***O. biennis***	
Maj			***Maj***		***Maj***		***Maj***	
K3	M (SD) Min – Max	1.26 (0.099) $a^{ns}b^{ns}$ 1.15 – 1.40	M (SD) Min - Max	3.76 (0.737) a***b*** 2.95 – 4.43	M (SD) Min - Max	1.33 (0.219) b^{ns} 1.01 – 1.55	M (SD) Min - Max	1.46 (0.782) $a^{ns}b^{ns}$ 0.82 – 2.57
K2	M (SD) Min – Max	1.62 (0.284) c** 1.39 – 2.09	M (SD) Min – Max	2.10 (0.435) c*** 1.60 – 2.60	M (SD) Min – Max	/	M (SD) Min – Max	1.79 (0.416) c^{ns} 1.22 – 2.22
K_{Ko}	M (SD) Min - Max	1.02 (0.161) 0.84 – 1.22	M (SD) Min - Max	0.64 (0.110) 0.54 – 0.77	M (SD) Min - Max	0.98 (1.38) 0.81 – 1.13	M (SD) Min - Max	1.18 (0.134) 1.0 – 1.32
Jul			***Jul***		***Jul***		***Jul***	
K3	M (SD) Min – Max	0.94 (0.018) $a^{ns}b^{ns}$ 0.92 – 0.96	M (SD) Min - Max	0.37 (0.169) $a^{ns}b^{ns}$ 0.22 – 0.60	M (SD) Min - Max	0.77 (0.132) b^{ns} 0.66 – 0.96	M (SD) Min - Max	0.92 (0.057) $a^{ns}b^{ns}$ 0.86 – 0.99
K2	M (SD) Min – Max	1.06 (0.173) c^{ns} 0.86 – 1.27	M (SD) Min - Max	0.67 (0.107) c^{ns} 0.56 – 0.80	M (SD) Min - Max	/	M (SD) Min - Max	1.41 (0.111) c^{ns} 1.27 – 1.55
K_{Ko}	M (SD) Min - Max	1.15 (0.120) 1.01 – 1.32	M (SD) Min - Max	0.76 (0.099) 0.62 – 0.85	M (SD) Min - Max	0.73 (0.288) 0.44 – 1.14	M (SD) Min - Max	1.26 (0.136) 1.05 – 1.39
Avgust			***Avgust***		***Avgust***		***Avgust***	
K3	M (SD) Min - Max	1.00 (0.140) $a^{ns}b^{ns}$ 0.83 – 1.15	M (SD) Min - Max	1.47 (0.234) $a^{ns}b^{ns}$ 1.23 – 1.75	M (SD) Min - Max	0.87 (0.113) b^{ns} 0.74 – 1.00	M (SD) Min - Max	1.20 (0.095) $a^{ns}b^{ns}$ 1.08 – 1.33
K2	M (SD) Min – Max	1.23 (0.460) c^{ns} 0.81 – 1.75	M (SD) Min - Max	0.97 (0.115) c^{ns} 0.80 – 1.06	M (SD) Min - Max	/	M (SD) Min - Max	1.87 (0.277) c* 1.59 – 2.20
K_{Ko}	M (SD) Min - Max	1.03 (0.107) 0.90 – 1.14	M (SD) Min - Max	0.96 (0.140) 0.84 – 1.13	M (SD) Min - Max	0.70 (0.120) 0.60 – 0.89	M (SD) Min - Max	1.11 (0.114) 0.99 – 1.24

dvofaktorska ANOVA, n=5, M (SD), Min – minimalne vrednosti, Max - maksimalne vrednosti; (a) K3-K2; (b) K3-K; (c) K2-K; * $p<0.05$; ** $p<0.01$; *** $p<0.001$, ns = nema značajnih razlika.

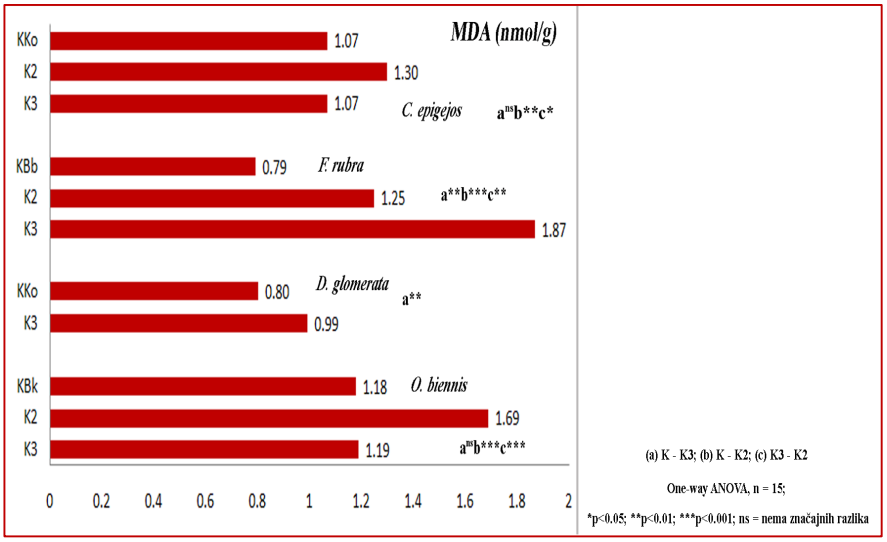


Slika 96. Količina MDA u listovima *C. epigejos*, *F. rubra*, *D. glomerata* i *O. biennis* na različitim staništima tokom sezone. Poređenja su sledeća: (a) Maj - Jul; (b) Maj - Avgust; (c) Jul – Avgust (dvofaktorska ANOVA, n = 5; *** $p<0.001$; ns = nema značajnih razlika).

Sadržaj MDA u listovima ***C. epigejos*** i ***O. biennis*** je bio veći na K2 u odnosu na K3 i kontrolno stanište. Tokom sezone nisu bile utvrđene značajne razlike u količini. MDA na svakom ispitivanom staništu. Međutim, kod ***F. rubra*** i ***D. glomerata*** veća količina MDA u listovima bila je zabeležena na K3 u odnosu K2 i kontrolno stanište. Količina MDA u listovima ovih vrsta je bila visoka tokom sredine i kraja leta.

5.6.2. Prosečan godišnji sadržaj malondialdehida (MDA) u listovima ispitivanih biljaka

Sadržaj MDA u listovima *C. epigejos* i *O. biennis* je bio značajno veći na K2 u odnosu na kontrolna staništa, dok je kod *F. rubra* i *D. glomerata* bio najveći na K3 (Slika 97).



Slika 97. Prosečne godišnje koncentracije MDA u listovima *C. epigejos, F. rubra, D. glomerata* i *O. biennis* na kontrolnim staništima (K_{Ko}, K_{Bb} i K_{Bk}) i kasetama različite starosti (K3 i K2) deponije pepela TENT-A u Obrenovcu.

Dvofaktorska analiza varijanse je pokazala da na varijabilnost sadržaja MDA u listovima biljaka na ispitivanim staništima značajan efekat imaju vrsta biljke ($p<0.001$; $p<0.001$; $p<0.001$) i sezona ($p<0.001$; $p<0.001$; $p<0.001$), ali je uticaj vrste veći (Tabela 74).

Tabela 74. Uticaj vrste biljaka i sezone na varijabilnost sadržaja MDA u listovima ispitivanih vrsta biljaka na različitim staništima.

Parametar	Vrsta biljaka		Sezona		Vrsta biljaka x Sezona	
	F	p	F	p	F	p
K						
MDA	**26.580**	***	0.147	ns	4.584	***
K3						
MDA	**66.8787**	***	21.1425	***	24.764	***
K2						
MDA	**27.063**	***	9.782	***	6.627	***

dvofaktorska ANOVA

S obzirom na to da varijabilnost količine MDA u listovima najviše zavisi od vrste biljaka na kontrolnim staništima, kao i na K3 i K2, korišćena je jednofaktorska ANOVA gde je sezona (maj, jul i avgust) pulirana, i time je dobijena prosečna količina MDA tokom sezone, kako bi se procenile razlike između ispitivanih vrsta biljaka na svakom staništu pojedinačno (Tabela 75).

Jednofaktorska ANOVA je pokazala da se na **kontrolnim staništima** vrsta *O. biennis* odlikuje najvećom količinom MDA u listovima, nešto manju količinu MDA ima *C. epigejos*, a najmanju imaju *F. rubra* i *D. glomerata* ($p<0.05$; $p<0.001$).

Na **K3** je utvrđeno da se sađena vrsta *F. rubra* karakteriše značajno većom količinom MDA u listovima u odnosu na ostale ispitivane vrste *C. epigejos*, *D. glomerata* i *O. biennis* ($p<0.01$; $p<0.001$).

Na **K2**, količina MDA u listovima tokom sezone je bila najveća kod *O. biennis* u odnosu na *F. rubra* i *C. epigejos* ($p<0.05$; $p<0.01$).

Tabela 75. Razlike u količini MDA (nmol/g) u listovima između ispitivanih biljaka na različitim staništima.

	Kontrolna staništa (K_{Ko}, K_{Bb}, K_{Bk})					**K3**					**K2**			
Vrsta	**M (SD)**	***C. epigejos***	***F. rubra***	***D. glomerata***	***O. biennis***	**M (SD)**	***C. epigejos***	***F. rubra***	***D. glomerata***	***O. biennis***	**M (SD)**	***C. epigejos***	***F. rubra***	***O. biennis***
MDA (nmol/g)														
C. epigejos	1.07 (0.135)	-	***	***	*	1.07 (0.171)	-	**	ns	ns	1.30 (0.391)	-	ns	**
F. rubra	0.79 (0.175)	***	-	ns	***	1.87 (0.525)	**	-	***	***	1.25 (0.684)	ns	-	*
D. glomerata	0.80 (0.222)	***	ns	-	***	0.99 (0.193)	ns	***	-	ns	/	/	/	/
O. biennis	1.18 (0.134)	*	***	***	-	1.19 (0.480)	ns	ns	***	-	1.69 (0.344)	**	*	-

jednofaktorska ANOVA, M (SD), n=15, *p<0.05; ** p<0.01; **p<0.01; *** p<0.001, ns = nema značajnih razlika.

5.7. KOMPONENTE ANTIOKSIDATIVNOG SISTEMA U LISTOVIMA ISPITIVANIH BILJAKA

5.7.1. Sezonska dinamika sadržaja fenola u listovima ispitivanih biljaka

C. epigejos

Dvofaktorska analiza varijanse sadržaja fenola (**slobodnih, SF; vezanih, VF i ukupnih, UF**) u listovima vrste *C. epigejos* je pokazala da na ove parametre značajno utiče stanište ($p<0.001$; $p<0.001$; $p<0.001$) i sezona ($p<0.001$; $p<0.001$; $p<0.001$), ali da je uticaj sezone veći. Vrednosti SF na različitim staništima imaju isti sezonski trend (Tabela 76).

Tabela 76. Uticaj staništa i sezone na varijabilnost sadržaja fenola u listovima vrste *C. epigejos*.

Parametar	Stanište		Sezona		Stanište x Sezona	
	F	p	F	p	F	p
Slobodni fenoli (SF)	9.0506	****	**35.0851**	***	0.7070	ns
Vezani fenoli (VF)	18.313	***	**23.427**	***	5.258	**
Ukupni fenoli (UF)	16.035	***	**46.404**	***	3.206	*

dvofaktorska ANOVA

U maju je sadržaj **SF** u listovima *C. epigejos* na K3 bio veći u odnosu na K_{Ko} ($p<0.05$), dok je na K2 sadržaj **VF** bio veći u odnosu na K_{Ko} ($p<0.001$). Sadržaj **UF** je u maju bio veći na K3 i K2 u odnosu na K_{Ko} ($p<0.05$; $p<0.001$). Takođe, samo su u maju na K2 izmerene veće količine VF u listovima u odnosu na K3 ($p<0.05$). U julu i avgustu nije bilo značajnih razlika u količini fenola u listovima *C. epigejos* na staništima (Tabela 80).

Tokom sezone, na K3 količina SF i UF u listovima *C. epigejos* je u maju bila veća u odnosu na jul ($p<0.001$; $p<0.001$) i avgust ($p<0.01$; $p<0.001$), dok je količina VF u maju bila veća samo u odnosu na avgust ($p<0.01$). Na K2, količina SF, VF i UF je u maju bila značajno veća u odnosu na jul ($p<0.01$; $p<0.001$; $p<0.001$) i avgust ($p<0.01$;

p<0.001; p<0.001). Na K_{Ko}, samo je u maju količina SF bila veća u maju u odnosu na jul (p<0.05) (Slika 98).

F. rubra

Dvofaktorska analiza varijanse sadržaja SF vrste *F. rubra* je pokazala da na ovaj parametar značajno utiče samo stanište (p<0.001). Na sadržaj VF i UF fenola značajno utiče stanište (p<0.001; p<0.001) i sezona (p<0.001; p<0.001), ali je efekat sezone veći (Tabela 77).

Tabela 77. Uticaj staništa i sezone na varijabilnost sadržaja fenola u listovima kod vrste *F. rubra.*

Parametar	Stanište		Sezona		Stanište x Sezona	
	F	p	F	p	F	p
Slobodni fenoli (SF)	**16.3234**	***	2.7918	ns	12.2409	***
Vezani fenoli (VF)	35.065	***	**53.299**	***	6.770	***
Ukupni fenoli (UF)	39.887	***	**45.085**	***	14.388	***

dvofaktorska ANOVA

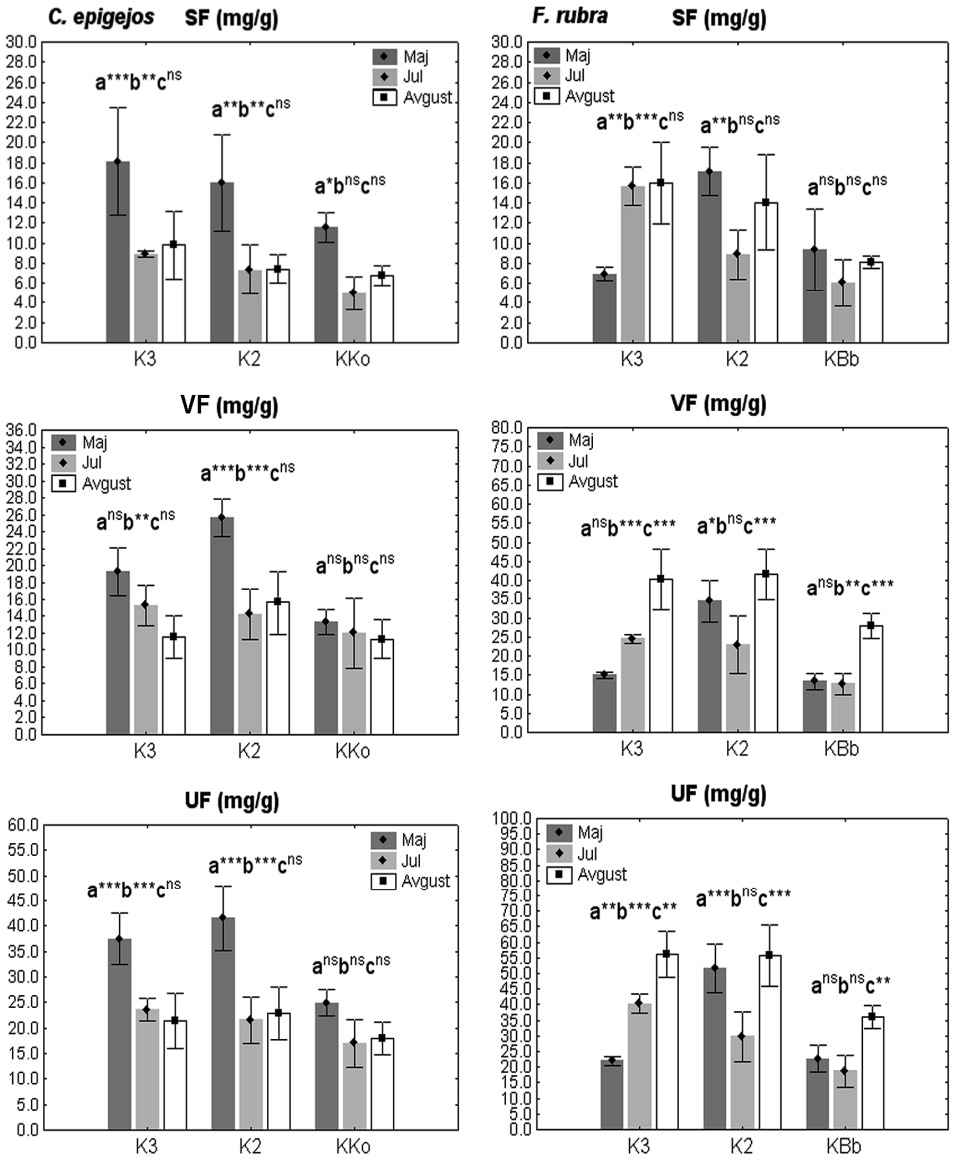
Sadržaj **SF, VF i UF** u listovima *F. rubra* je u maju na K2 bio veći (p<0.001; p<0.001; p<0.001) u odnosu na K_{Bb}, dok je u julu bio veći na K3 (p<0.001; p<0.01; p<0.001). U avgustu je sadržaj VF i UF bio veći na K3 i K2 u odnosu na K_{Bb} (p<0.01; p<0.01; p<0.001; p<0.001), dok su SF bili veći na K3 u odnosu na K_{Bb} (p<0.01). Sadržaj SF i UF je u maju bio veći na K2 u odnosu na K3 (p<0.001; p<0.001), dok je sadržaj VF na K3 bio veći u odnosu na K2 u maju (p<0.001) i julu (p<0.05) (Tabela 80). Sadržaj SF i UF u listovima na K3 u maju je bio manji odnosu na jul (p<0.01; p<0.01) i avgust (p<0.001; p<0.001), dok se sadržaj VF povećavao tokom sezone i bio značajno veći u avgustu u odnosu na maj (p<0.001) i jul (p<0.001) (Slika 98).

Na K2, sadržaj VF i UF je u julu bio značajno manji u odnosu na maj (p<0.05; p<0.001) i avgust (p<0.001; p<0.001), dok je sadržaj SF bio veći u maju u odnosu na jul (p<0.01). Na K_{Bb}, sadržaj VF i UF je bio najveći u avgustu (p<0.01; p<0.001; p<0.01), dok razlika u sadržaju SF tokom sezone nije bilo (Slika 98).

Tabela 80. Sadržaj slobodnih (SF), vezanih (VF) i ukupnih fenola (UF) u listu *C. epigejos* i *F. rubra* na kasetama različite starosti (K3 i K2) deponije pepela TENT-A u Obrenovcu i kontrolnim staništima (K_{Ko} i K_{Bb}).

Vrsta		***C. epigejos***			***F. rubra***			
Maj		**SF (mg/g)**	**VF (mg/g)**	**UF (mg/g)**	***Maj***	**SF (mg/g)**	**VF (mg/g)**	**UF (mg/g)**
K3	M (SD) Min - Max	18.1 (5.311) $a^{ns}b^{*}$ 12.0 - 24.7	19.3 (2.906) b^{ns} 15.5 – 23.0	37.4 (5.078) $a^{ns}b^{*}$ 32.9 – 45.0	M (SD) Min - Max	6.9 (0.705) b^{ns} 6.2 – 8.0	15.0 (0.826) b^{ns} 14.0 – 16.0	21.9 (1.441) b^{ns} 20.7 – 24.0
K2	M (SD) Min – Max	15.9 (4.791) c^{ns} 10.1 – 21.6	25.6 (2.207) a*c*** 22.8 – 28.0	41.5 (6.348) c*** 36.0 – 49.0	M (SD) Min – Max	17.1 (2.378) a***c*** 14.4 - 20.0	34.5 (5.489) a***c*** 27.4 – 40.0	51.6 (7.821) a***c*** 41.9 – 60.0
K	M (SD) Min - Max	11.5 (1.479) 9.9 – 13.0	13.3 (1.425) 12.0 – 15.4	24.8 (2.592) 21.9 – 28.0	M (SD) Min - Max	9.4 (4.079) 5.2 – 14.9	13.4 (2.131) 11.3 – 16.0	22.8 (4.154) 18.0- 28.0
Jul					***Jul***			
K3	M (SD) Min - Max	8.9 (0.291) $a^{ns}b^{ns}$ 8.6 – 9.3	15.3 (2.420) $a^{ns}b^{ns}$ 13.2 – 18.0	24.2 (2.190) $a^{ns}b^{ns}$ 21.9 – 27.3	M (SD) Min - Max	15.7 (1.890) a*b*** 13.6 – 18.0	24.5 (1.213) $a^{ns}b^{**}$ 23.2 – 26.0	40.2 (3.065) $a^{ns}b^{***}$ 36.8 – 44.0
K2	M (SD) Min - Max	7.3 (2.456) c^{ns} 4.3 – 10.0	14.2 (3.010) c^{ns} 10.9 – 17.0	21.5 (4.508) c^{ns} 17.0 – 27.0	M (SD) Min - Max	8.9 (2.459) c^{ns} 6.0 – 12.0	22.9 (7.432) c^{ns} 14.8 – 30.0	31.8 (8.030) c^{ns} 20.8 – 38.8
K	M (SD) Min - Max	5.0 (1.659) 3.4 – 7.0	12.0 (4.131) 8.0 – 17.7	17.0 (4.736) 12.8 – 22.3	M (SD) Min - Max	6.1 (2.343) 3.8 – 9.0	12.6 (2.754) 10.1 – 16.0	18.7 (5.078) 13.9 – 25.0
Avgust					***Avgust***			
K3	M (SD) Min - Max	9.8 (3.375) $a^{ns}b^{ns}$ 6.1 – 13.5	11.5 (2.501) $a^{ns}b^{ns}$ 9.0 – 14.5	21.3 (5.380) $a^{ns}b^{ns}$ 15.2 – 28.0	M (SD) Min - Max	16.0 (4.056) $a^{ns}b^{***}$ 11.2 – 20.0	40.3 (8.022) $a^{ns}b^{**}$ 33.5 – 52.1	56.3 (7.486) $a^{ns}b^{***}$ 48.0 – 65.0
K2	M (SD) Min - Max	7.4 (1.436) c^{ns} 5.8 – 9.0	15.6 (3.768) c^{ns} 12.2 – 20.0	23.0 (5.267) c^{ns} 17.2 – 29.0	M (SD) Min - Max	11.1 (4.697) c^{ns} 9.1 – 20.0	41.5 (6.633) c** 35.6 – 50.0	52.6 (9.931) c*** 45.8 – 70.0
K	M (SD) Min - Max	6.8 (0.993) 5.9 – 8.0	11.3 (2.249) 9.4 – 14.0	18.1 (3.227) 15.4 – 22.0	M (SD) Min - Max	8.1 (0.622) 7.5 – 9.0	27.9 (3.221) 25.0 – 32.0	36.0 (3.696) 32.6 – 41.0

dvofaktorska ANOVA, n=5, M (SD), Min – minimalne vrednosti, Max - maksimalne vrednosti; (a) K3-K2; (b) K3-K; (c) K2-K; * $p<0.05$; ** $p<0.01$; *** $p<0.001$, ns = nema značajnih razlika.



Slika 98. Sadržaj slobodnih (SF), vezanih (VF) i ukupnih fenola (UF) u listovima *C. epigejos* i *F. rubra* na različitim staništima tokom sezone. Poređenja su sledeća: (a) Maj - Jul; (b) Maj - Avgust; (c) Jul – Avgust (dvofaktorska ANOVA, n=5; * $p<0.05$; **$p<0.001$; ***$p<0.001$; ns = nema značajnih razlika).

D. glomerata

Dvofaktorska analiza varijanse sadržaja SF i UF u listovima vrste *D. glomerata* je pokazala da na ove parametre značajno utiče stanište ($p<0.01$; $p<0.001$) i sezona ($p<0.001$; $p<0.001$), ali da je uticaj sezone veći. Na sadržaj VF takođe značajno utiče

stanište ($p<0.001$) i sezona ($p<0.001$), ali je efekat staništa veći (Tabela 78). Tokom sezone, vrednosti SF, VF i UF na različitim staništima imaju isti trend promena.

Tabela 78. Uticaj staništa i sezone na varijabilnost sadržaja fenola u listovima kod vrste *D. glomerata.*

Parametar	Stanište		Sezona		Stanište x Sezona	
	F	p	F	p	F	p
Slobodni fenoli (SF)	12.8752	**	**58.9348**	***	2.0868	ns
Vezani fenoli (VF)	**30.3125**	***	15.3665	***	2.9800	ns
Ukupni fenoli (UF)	30.9149	***	**35.6558**	***	2.7971	ns

dvofaktorska ANOVA

Sadržaj **SF** u listovima *D. glomerata* je na K3 u avgustu bio značajno veći u odnosu na K_{Ko} ($p<0.05$), dok je količina **VF** bila veća na K3 u maju ($p<0.001$). Sadržaj **UF** je bio značajno veći na K3 u odnosu na K_{Ko} u maju ($p<0.01$) i avgustu ($p<0.01$) (Tabela 81).

Tokom sezone, na K3, najveći sadržaj SF u listovima *D. glomerata* je bio u avgustu ($p<0.001$; $p<0.001$), a VF u maju ($p<0.001$), dok je sadržaj UF u julu bio najmanji ($p<0.01$; $p<0.001$). Na K_{Ko}, sadržaj SF i UF je bio najveći u avgustu ($p<0.001$; $p<0.001$; $p<0.01$; $p<0.01$) (Slika 99).

O. biennis

Dvofaktorska analiza varijanse sadržaja SF vrste *O. biennis* je pokazala da na ovaj parametar značajno utiče samo stanište ($p<0.001$). Na sadržaj VF i UF fenola u listovima značajno utiče stanište ($p<0.001$; $p<0.001$) i sezona ($p<0.001$; $p<0.001$), ali je efekat staništa veći (Tabela 79).

Tabela 79. Uticaj staništa i sezone na varijabilnost sadržaja fenola u listovima kod vrste *O. biennis*.

Parametar	Stanište		Sezona		Stanište x Sezona	
	F	p	F	p	F	p
Slobodni fenoli (SF)	**7.011**	**	0.207	ns	11.628	***
Vezani fenoli (VF)	**112.879**	***	17.913	***	16.472	***
Ukupni fenoli (UF)	**108.432**	***	17.469	***	12.486	***

dvofaktorska ANOVA

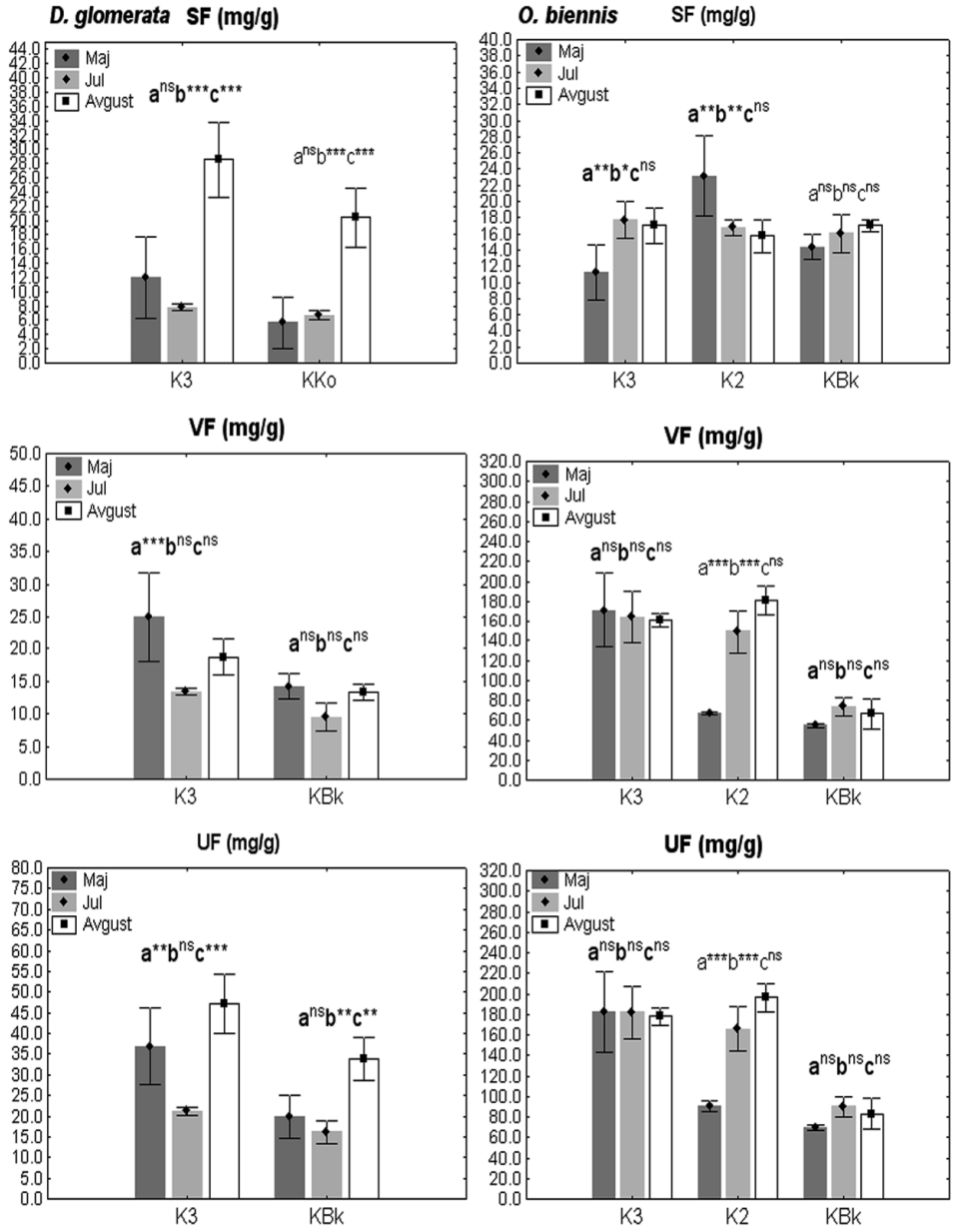
Sadržaj **SF** u listovima *O. biennis* je na K2 u maju bio značajno veći u odnosu na K_{Bk} ($p<0.001$). U maju je značajno veća količina SF bila utvrđena u listovima na K2 u odnosu na K3 ($p<0.001$). Sadržaj **VF i UF** je u maju na K3 bio veći u odnosu na K_{Bk} ($p<0.001$; $p<0.001$) (Tabela 81). Značajno veća količina VF i UF je izmerena u listovima *O. biennis* na K3 i K2 u julu ($p<0.001$; $p<0.001$) i avgustu ($p<0.001$; $p<0.001$) u odnosu na K_{Bk} (Tabela 81).

Tokom sezone, na K3 sadržaj SF u listovima *O. biennis* je u maju bio značajno manji u odnosu na jul ($p<0.01$) i avgust ($p<0.05$). Na K2, sadržaj VF i UF u listovima je bio najmanji ($p<0.001$; $p<0.001$), a sadržaj SF najveći ($p<0.01$) u maju. Na K_{Bk}, nisu utvrđene sezonske razlike u sadržaju fenola u listovima *O. biennis* (Slika 99).

Tabela 81. Sadržaj slobodnih (SF), vezanih (VF) i ukupnih fenola (UF) u listu *D. glomerata* i *O. biennis* na kasetama različite starosti (K3 i K2) deponije pepela TENT-A u Obrenovcu i kontrolnim staništima (K_{Ko} i K_{Bk}).

Vrsta		***D. glomerata***			***O. biennis***			
Maj		**SF (mg/g)**	**VF (mg/g)**	**UF (mg/g)**	***Maj***	**SF (mg/g)**	**VF (mg/g)**	**UF (mg/g)**
K3	M (SD) Min - Max	11.9 (5.739) b^{ns} 6.0- 19.0	24.9 (6.862) b*** 17.6 – 34.1	36.8 (9.294) b** 26.9 – 49.0	M (SD) Min - Max	11.2 (3.385) b^{ns} 7.3 – 15.0	170.9(37.636)a***b*** 121.4 – 209.8	182.1(39.078)a***b*** 134.0 – 223.0
K2	M (SD) Min – Max	-	-	-	M (SD) Min – Max	23.2 (4.959) a***c*** 17.7 – 29.0	67.2 (1.582) c^{ns} 65.0- 69.3	90.4 (5.572) c^{ns} 82.7 – 97.0
K	M (SD) Min - Max	5.7 (3.593) 2.8 – 10.9	14.2 (2.008) 12.0 – 16.0	19.9 (5.238) 14.9 – 26.5	M (SD) Min - Max	14.4 (1.511) 12.6 – 16.0	55.0 (1.983) 52.8 – 57.0	69.4 (2.916) 66.0 – 73.0
Jul					***Jul***			
K3	M (SD) Min - Max	7.8 (0.466) b^{ns} 7.3 – 8.5	13.4 (0.503) b^{ns} 12.9 – 14.0	21.2 (0.934) b^{ns} 20.4 – 22.5	M (SD) Min - Max	17.7 (2.207) $a^{ns}b^{ns}$ 14.8 – 20.0	164.4 (26.234) a^{ns}b*** 126.0 – 191.3	182.1 (25.484) a^{ns}b*** 145.2 – 205.1
K2	M (SD) Min - Max	-	-	-	M (SD) Min - Max	16.8 (0.951) c^{ns} 15.9 – 18.0	149.0 (21.360) c*** 125.5 – 174.4	165.8 (21.765) c*** 140.9 – 190.4
K	M (SD) Min - Max	6.7 (0.661) 6.0 – 7.5	9.5 (2.181) 7.1 – 12.0	16.2 (2.827) 13.2 – 19.5	M (SD) Min - Max	16.0 (2.305) 13.0 – 19.1	73.9 (8.963) 60.6 – 82.0	89.9 (9.555) 77.8 – 100.9
Avgust					***Avgust***			
K3	M (SD) Min - Max	28.5 (5.332) b* 22.5 – 36.6	18.7 (2.739) b^{ns} 15.2 – 22.0	47.2 (7.236) b** 40.6 – 57.3	M (SD) Min - Max	17.0 (2.152) $a^{ns}b^{ns}$ 14.8 – 20.0	160.9 (6.786) a^{ns}b*** 153.1 – 170.0	177.9 (8.975) a^{ns}b*** 168.3 – 190.0
K2	M (SD) Min - Max	-	-	-	M (SD) Min - Max	15.7 (2.044) c^{ns} 13.4 – 18.0	180.4 (14.378) c*** 161.2 – 198.0	196.1 (13.593) c*** 178.7 – 211.4
K	M (SD) Min - Max	20.4 (4.173) 15.7 – 25.2	13.4 (1.192) 12.1 – 15.0	33.8 (5.125) 28.3 – 39.4	M (SD) Min - Max	17.0 (0.738) 16.2 – 18.0	66.3 (14.923) 52.4 – 89.8	83.3 (14.758) 69.2 – 105.7

dvofaktorska ANOVA, n=5, M (SD), Min – minimalne vrednosti, Max - maksimalne vrednosti; (a) K3-K2; (b) K3-K; (c) K2-K; * $p<0.05$; ** $p<0.01$; *** $p<0.001$, ns = nema značajnih razlika.



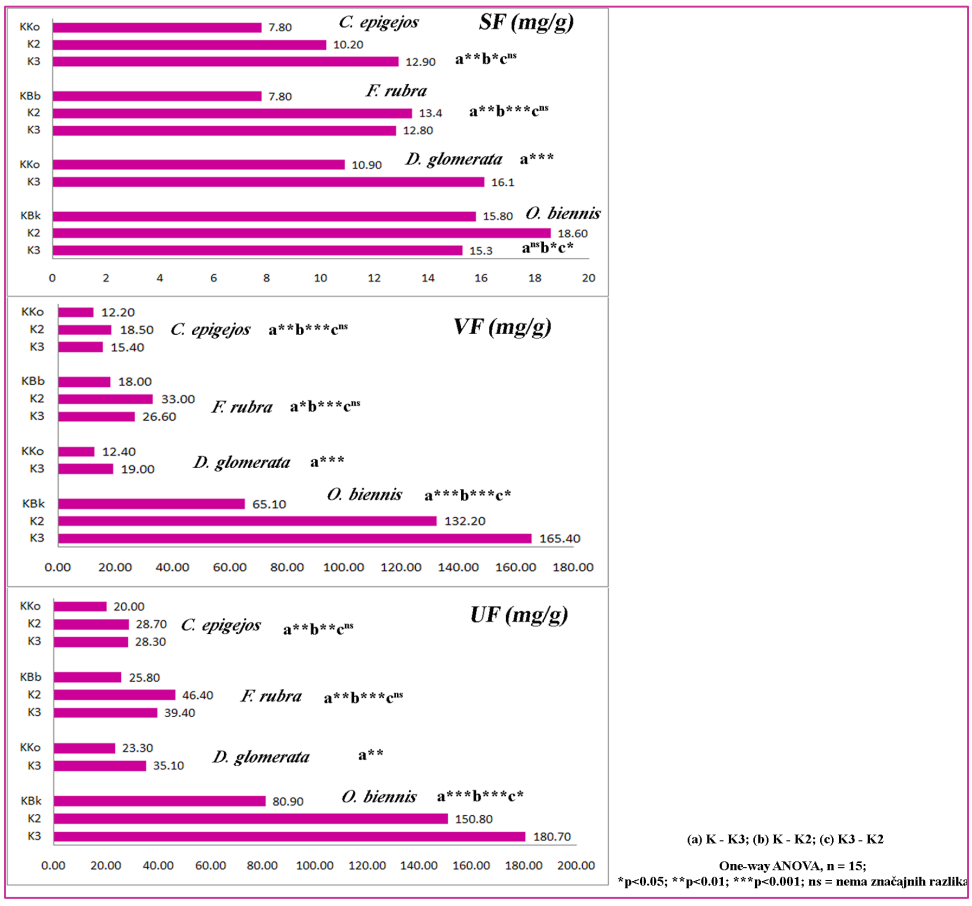
Slika 99. Sadržaj slobodnih (SF), vezanih (VF) i ukupnih fenola (UF) u listovima *D. glomerata* i *O. biennis* na različitim staništima tokom sezone. Poređenja su sledeća: (a) Maj - Jul; (b) Maj - Avgust; (c) Jul – Avgust (dvofaktorska ANOVA, n=5; * $p<0.05$; ** $p<0.001$; *** $p<0.001$; ns = nema značajnih razlika).

U listovima ***C. epigejos*** količina SF je bila veća na K3, VF na K2, a UF na K3 i K2 u odnosu na kontrolno stanište. Kod ove vrste, količina SF, VF i UF se povećavala tokom sezone i bila je najveća u avgustu. U listovima ***F. rubra*** količina SF, VF i UF je na K3 i K2 bila veća u odnosu na kontrolno stanište. Tokom sezone, na K3 i K2 kod

ove vrste količina svih fenola je bila velika sredinom i krajem leta. Kod ***D. glomerata*** je izmerena veća količina SF, VF i UF na K3 u odnosu na kontrolno stanište. Kod ove vrste sadržaj SF i UF je bio bio najveći u avgustu, a VF u maju. U listovima ***O. biennis*** količina SF, VF i UF je na K3 i K2 bila veća u odnosu na kontrolno stanište. Kod ove vrste na K3 sadržaj SF je bio visok sredinom i krajem leta, dok sezonske u sadržaju VF i UF nije bilo. Na K2, količina SF je bila najveća u proleće, a VF i UF sredinom i krajem leta.

5.7.2. Prosečan godišnji sadržaj fenola u listovima ispitivanih biljaka

Sadržaj slobodnih (SF), vezanih (VF) i ukupnih fenola (UF) je kod svih ispitivanih vrsta veći na deponiji pepela u odnosu na kontrolna staništa (Slika 100).



Slika 100. Prosečne godišnje koncentracije slobodnih (SF), vezanih (VF) i ukupnih fenola (UF) u listovima *C. epigejos, F. rubra, D. glomerata* i *O. biennis* na kontrolnim staništima (K_{Ko}, K_{Bb} i K_{Bk}) i kasetama različite starosti (K3 i K2) deponije pepela TENT-A u Obrenovcu.

Dvofaktorska analiza varijanse količine fenola (SF, VF i UF) u listovima ispitivanih vrsta biljaka na **kontrolnim staništima** je pokazala značajne razlike u količini između vrsta ($p<0.001$; $p<0.001$; $p<0.001$) i sezone ($p<0.001$; $p<0.01$; $p<0.001$), ali da veći uticaj na varijabilnost sadržaja fenola ima vrsta biljke.

Na **K3,** na sadržaj SF u listovima značajan uticaj ima vrsta biljke ($p<0.01$) i sezona, ali je efekat sezone veći. Na sadržaj VF i UF u listovima značajan efekat ima samo vrsta biljke ($p<0.001$; $p<0.001$).

Na **K2**, na varijabilnost sadržaja SF u listovima jednak uticaj ima vrsta biljke ($p<0.001$) i sezona ($p<0.001$). Značajan uticaj na na količinu VF i UF u listovima ima vrsta biljke ($p<0.001$; $p<0.001$) i sezona ($p<0.001$; $p<0.001$), ali je uticaj vrste biljaka veći (Tabela 82).

Tabela 82. Uticaj vrste biljaka i sezone na varijabilnost sadržaja fenola (SF, VF i UF) u listovima na različitim staništima.

Parametar	**Vrsta**		**Sezona**		**Vrsta x Sezona**	
	F	**p**	**F**	**p**	**F**	**p**
K						
SF	**38.193**	***	19.445	***	18.461	***
VF	**323.911**	***	5.402	**	7.607	***
UF	**318.137**	***	10.827	***	8.883	***
K3						
SF	4.307	**	**17.268**	***	20.160	***
VF	**414.68**	***	0.384	ns	1.935	ns
UF	**384.927**	***	1.972	ns	3.667	**
K2						
SF	**25.2408**	***	**24.3779**	***	1.6792	ns
VF	**628.891**	***	55.458	***	69.083	***
UF	**588.777**	***	31.874	***	57.807	***

dvofaktorska ANOVA

S obzirom na to da na varijabilnost količine fenola u listovima dominantan efekat ima vrsta biljke, korišćena je jednofaktorska ANOVA gde je sezona (maj, jul i avgust) pulirana, čime je dobijena prosečna količina fenola u listovima biljaka tokom sezone, kako bi se procenile razlike između ispitivanih vrsta biljaka na svakom staništu (Tabela 83).

Analiza je pokazala da se na **kontrolnim staništima** vrsta *O. biennis* odlikuje najvećom količinom SF u listovima u odnosu na ostale ispitivane vrste. Količina VF i UF je bila najveća kod *O. biennis*, manja kod *F. rubra*, a najmanja kod *D. glomerata* i *C. epigejos*.

Na **K3**, između ispitivanih vrsta biljaka nije bilo značajnih razlika u količini SF u listovima. Količina VF je bila najveća kod vrste *O. biennis*, manja kod *F. rubra*, a najmanja kod *D. glomerata* i *C. epigejos*. Količina UF je bila najveća kod *O. biennis*, manja kod *F. rubra* i *D. glomerata*, a najmanja kod *C. epigejos*.

Na **K2**, količina SF je bila veća kod *O. biennis* u odnosu na *F. rubra* i *C. epigejos*. Sadržaj VF i UF u listovima *O. biennis* je bio najveći, manji kod *F. rubra*, a najmanji kod *C. epigejos*.

Tabela 83. Razlike u količini fenola slobodnih, vezanih i ukupnih fenola (SF, VF i UF) u listovima između ispitivanih biljaka na različitim staništima.

	Kontrolna staništa (K_{Ko}, K_{Bb} K_{Bk})					K3					K2			
Vrsta	**M (SD)**	***C. epigejos***	***F. rubra***	***D. glomerata***	***O. biennis***	**M (SD)**	***C. epigejos***	***F. rubra***	***D. glomerata***	***O. biennis***	**M (SD)**	***C. epigejos***	***F. rubra***	***O. biennis***
SF (mg/g)														
C. epigejos	7.8 (3.153)	-	ns	ns	**	12.9 (5.462)	-	ns	ns	ns	10.2 (2.150)	-	*	***
F. rubra	7.8 (2.899)	ns	-	ns	***	12.8 (4.973)	ns	-	ns	ns	13.4 (4.696)	*	-	**
D. glomerata	10.9 (5.570)	ns	ns	-	*	16.1 (7.160)	ns	ns	-	ns	/	/	/	/
O. biennis	15.8 (1.892)	**	***	*	-	15.3 (3.884)	ns	ns	ns	-	18.6 (4.475)	***	**	-
VF (mg/g)														
C. epigejos	12.2 (2.767)	-	**	ns	***	15.4 (4.085)	-	**	ns	***	18.5 (5.975)	-	***	***
F. rubra	18.0 (7.695	**	-	**	***	26.6 (11.615)	**	-	*	***	33.0 (9.997)	***	-	***
D. glomerata	12.4 (2.726)	ns	**	-	***	19.0 (6.291)	ns	*	-	***	/	/	/	/
O. biennis	65.1 (12.325)	***	***	***	-	165.4 (25.156)	***	***	***	-	132.2 (51.273)	***	***	-
UF (mg/g)														
C. epigejos	20.0 (4.932)	-	*	ns	***	28.3 (8.444)	-	**	ns	***	28.7 (10.728)	-	***	***
F. rubra	25.8 (8.707)	*	-	ns	***	39.4 (15.122)	**	-	ns	***	46.4 (14.272)	***	-	***
D. glomerata	23.3 (8.889)	ns	ns	-	***	35.1 (12.753)	ns	ns	-	***	/	/	/	/
O. biennis	80.9 (12.989)	***	***	***	-	180.7 (25.478)	***	***	***	-	150.8 (48.102)	***	***	-

jednofaktorska ANOVA, M (SD), n=15, *p<0.05; ** p<0.01; **p<0.01; *** p<0.001, ns = nema značajnih razlika.

5.7.3. Sezonska dinamika sadržaja askorbinske kiseline (AsA) u listovima ispitivanih biljaka

C. epigejos

Dvofaktorska analiza varijanse sadržaja **askorbinske kiseline (AsA)** u listovima *C. epigejos* je pokazala da na varijabilnost ovog parametra značajno utiče stanište ($p<0.001$) i sezona ($p<0.001$), ali je efekat sezone veći (Tabela 84).

Tabela 84. Uticaj staništa i sezone na varijabilnost sadržaja askorbinske kiseline (AsA) u listovima vrste *C. epigejos*.

Parametar	**Stanište**		**Sezona**		**Stanište x Sezona**	
	F	**p**	**F**	**p**	**F**	**p**
Askorbinska kiselina	66.739	***	**125.700**	***	7.379	***

dvofaktorska ANOVA

Sadržaj AsA u listovima *C. epigejos* je na K3 i K2 bio veći u maju ($p<0.01$; $p<0.05$), julu ($p<0.001$; $p<0.05$) i avgustu ($p<0.001$; $p<0.001$) u odnosu na K_{Ko}. Na K3 u julu, u listovima *C. epigejos* bile su zabeležene veće količine AsA u odnosu na K2 ($p<0.01$) (Tabela 88).

Tokom sezone, na K3 sadržaj AsA u listovima *C. epigejos* je u maju bio značajno manji u odnosu na jul ($p<0.001$) i avgust ($p<0.001$). Na K2 i K_{Ko}, sadržaj AsA u listovima je bio veći u avgustu u odnosu na maj ($p<0.001$; $p<0.001$) i jul ($p<0.001$; $p<0.05$) (Slika 101).

F. rubra

Dvofaktorska analiza varijanse sadržaja askorbinske kiseline (AsA) u listovima *F. rubra* je pokazala da na varijabilnost ovog parametra značajno utiče stanište ($p<0.001$) i sezona ($p<0.001$), ali je efekat staništa veći (Tabela 85).

Tabela 85. Uticaj staništa i sezone na varijabilnost sadržaja askorbinske kiseline (AsA) u listovima vrste *F. rubra*.

Parametar	Stanište		Sezona		Stanište x Sezona	
	F	p	F	p	F	p
Askorbinska kiselina	**113.967**	***	89.994	***	32.586	***

dvofaktorska ANOVA

Količina AsA u listovima *F. rubra* je na K3 i K2 bila veća u maju ($p<0.001$; $p<0.001$) i julu ($p<0.001$; $p<0.001$) u odnosu na K_{Bb}. U maju su u listovima *F. rubra* na K3 bile utvrđene veće koncentracije AsA u odnosu na K2 ($p<0.001$) (Tabela 88).

Tokom sezone, na K3 i K2 sadržaj AsA u listovima je bio veći u julu u odnosu na maj ($p<0.001$; $p<0.001$) i avgust ($p<0.01$; $p<0.001$). Na K_{Bb}, količina AsA u listovima *F. rubra* je bila najveća u avgustu ($p<0.001$; $p<0.001$) (Slika 101).

D. glomerata

Dvofaktorska analiza varijanse sadržaja AsA u listovima *D. glomerata* je pokazala da na varijabilnost ovog parametra značajno utiče stanište ($p<0.001$) i sezona ($p<0.001$), ali je efekat staništa veći (Tabela 86).

Tabela 86. Uticaj staništa i sezone na varijabilnost sadržaja askorbinske kiseline (AsA) u listovima vrste *D. glomerata*.

Parametar	Stanište		Sezona		Stanište x Sezona	
	F	p	F	p	F	p
Askorbinska kiselina	**76.6286**	***	48.7725	***	46.1248	***

dvofaktorska ANOVA

U julu su u listovima *D. glomerata* na K3 bile izmerene veće koncentracije AsA u odnosu na K_{Ko} ($p<0.001$), dok u maju u avgustu nisu zabeležene razlike u količini AsA između staništa (Tabela 88).

Tokom sezone, u julu na K3 su izmerene veće koncentracije AsA u odnosu na maj ($p<0.001$) i avgust ($p<0.001$), dok su na K_{Ko} te koncentracije bile najveće u maju ($p<0.05$) (Slika 101).

O. biennis

Dvofaktorska analiza sadržaja AsA u listovima *O. biennis* je pokazala da na ovaj parameter značajno utiče stanište ($p<0.001$) i sezona ($p<0.001$), ali je efekat sezone veći (Tabela 87).

Tabela 87. Uticaj staništa i sezone na varijabilnost sadržaja askorbinske kiseline (AsA) u listovima vrste *O. biennis*.

Parametar	**Stanište**		**Sezona**		**Stanište x Sezona**	
	F	**p**	**F**	**p**	**F**	**p**
Askorbinska kiselina	41.217	***	**65.976**	***	50.144	***

dvofaktorska ANOVA

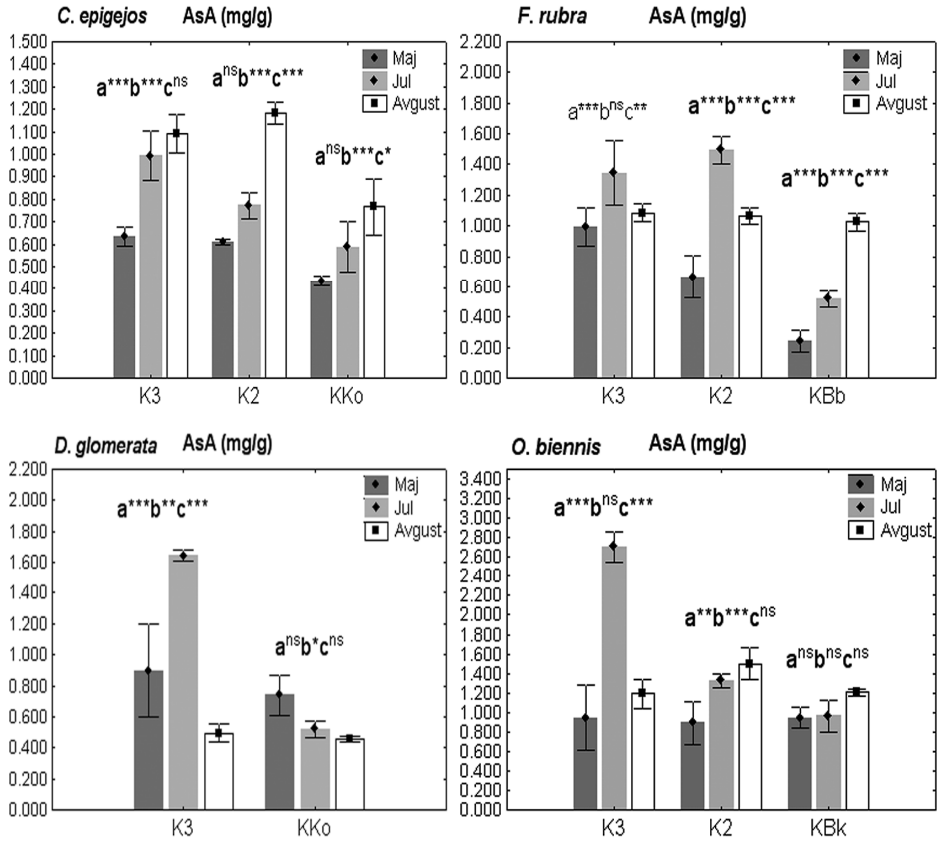
Sadržaj AsA na K3 je bio veći u julu u odnosu na K_{Bk} ($p<0.001$). Takođe, u julu su izmerene veće količine AsA u listovima na K3 u odnosu na K2 ($p<0.001$) (Tabela 88). U maju i avgustu razlika u sadržaju AsA u odnosu na stanište u listovima *O. biennis* nije bilo.

Tokom sezone, na K3 su julu izmerene najveće koncentracije AsA u listovima ($p<0.001$; $p<0.001$), a na K2 su u maju bile najmanje ($p<0.01$; $p<0.001$). Na K_{Bk}, nije bilo značajnih razlika u količini AsA tokom sezone (Slika 101).

Tabela 88. Sadržaj askorbinske kiseline (AsA, mg/g) u listovima *C. epigejos*, *F. rubra*, *D. glomerata* i *O. biennis* na kasetama različite starosti (K3 i K2) deponije pepela TENT-A u Obrenovcu i kontrolnim staništima (K_{Ko}, K_{Bb} i K_{Bk}).

	C. epigejos		***F. rubra***		***D. glomerata***		***O. biennis***	
Maj			***Maj***		***Maj***		***Maj***	
K3	M (SD) Min – Max	0.634 (0.044) $a^{ns}b^{**}$ 0.596 – 0.700	M (SD) Min - Max	0.995 (0.126) $a^{***}b^{***}$ 0.821 – 1.090	M (SD) Min - Max	0.898 (0.298) b^{ns} 0.532 – 1.209	M (SD) Min - Max	0.941 (0.335) $a^{ns}b^{ns}$ 0.543 – 1.300
K2	M (SD) Min – Max	0.607 (0.011) c^{*} 0.592 – 0.621	M (SD) Min – Max	0.665 (0.138) c^{***} 0.503 – 0.850	M (SD) Min – Max	-	M (SD) Min – Max	0.890 (0.221) c^{ns} 0.559 – 1.120
K_{Ko}	M (SD) Min - Max	0.436 (0.019) 0.405 – 0.452	M (SD) Min - Max	0.241 (0.073) 0.149 – 0.311	M (SD) Min - Max	0.739 (0.129) 0.562 – 0.863	M (SD) Min - Max	0.946 (0.102) 0.828 – 1.060
Jul			***Jul***		***Jul***		***Jul***	
K3	M (SD) Min – Max	0.992 (0.109) $a^{**}b^{***}$ 0.856 – 1.098	M (SD) Min - Max	1.346 (0.210) $a^{ns}b^{***}$ 1.222 – 1.720	M (SD) Min - Max	1.644 (0.036) b^{***} 1.600 – 1.700	M (SD) Min - Max	2.705 (0.154) $a^{***}b^{***}$ 2.502 – 2.850
K2	M (SD) Min – Max	0.774 (0.058) c^{*} 0.719 – 0.843	M (SD) Min - Max	1.496 (0.089) c^{***} 1.415 – 1.600	M (SD) Min - Max	-	M (SD) Min - Max	1.324 (0.075) c^{ns} 1.221 – 1.407
K_{Ko}	M (SD) Min - Max	0.588 (0.114) 0.446 – 0.700	M (SD) Min - Max	0.520 (0.056) 0.467 – 0.603	M (SD) Min - Max	0.522 (0.054) 0.451 – 0.570	M (SD) Min - Max	0.963 (0.166) 0.783 – 1.150
Avgust			***Avgust***		***Avgust***		***Avgust***	
K3	M (SD) Min - Max	1.091 (0.083) $a^{ns}b^{***}$ 0.979 – 1.180	M (SD) Min - Max	1.086 (0.062) $a^{ns}b^{ns}$ 1.005 – 1.150	M (SD) Min - Max	0.497 (0.062) b^{ns} 0.412 – 0.545	M (SD) Min - Max	1.192 (0.148) $a^{ns}b^{ns}$ 1.044 – 1.350
K2	M (SD) Min – Max	1.185 (0.050) c^{***} 1.126 – 1.250	M (SD) Min - Max	1.065 (0.050) c^{ns} 0.985 – 1.108	M (SD) Min - Max	-	M (SD) Min - Max	1.500 (0.165) c^{ns} 1.237 – 1.650
K_{Ko}	M (SD) Min - Max	0.767 (0.123) 0.587 – 0.900	M (SD) Min - Max	1.025 (0.066) 0.920 – 1.072	M (SD) Min - Max	0.455 (0.016) 0.437 – 0.480	M (SD) Min - Max	1.205 (0.031) 1.172 – 1.250

dvofaktorska ANOVA, n=5, M (SD), Min – minimalne vrednosti, Max - maksimalne vrednosti; (a) K3-K2; (b) K3-K; (c) K2-K; * $p<0.05$; ** $p<0.01$; *** $p<0.001$, ns = nema značajnih razlika.

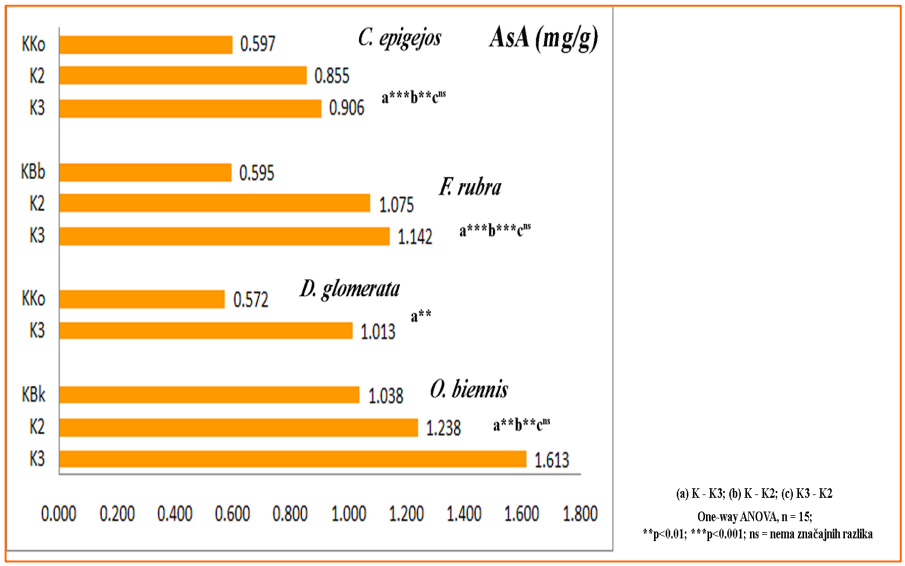


Slika 101. Sadržaj askorbinske kiseline (AsA) u listovima *C. epigejos*, *F. rubra*, *D. glomerata* i *O. biennis* na različitim staništima tokom sezone. Poređenja su sledeća: (a) Maj - Jul; (b) Maj - Avgust; (c) Jul – Avgust (dvofaktorska ANOVA, n = 5; *p<0.05; **p<0.01; *** p<0.001; ns = nema značajnih razlika).

Količina AsA u listovima ***C. epigejos, F. rubra, D. glomerata*** i ***O. biennis*** je bila veća na K3 i K2 u odnosu na kontrolna staništa. Tokom sezone, kod svih ispitivanih biljaka količina AsA je bila velika sredinom i krajem leta.

5.7.4. Prosečan godišnji sadržaj askorbinske kiseline (AsA) u listovima ispitivanih biljaka

Sadržaj askorbinske kiseline (AsA) u listovima *C. epigejos, F. rubra, D. glomerata* i *O. biennis* je na deponiji pepela bio veći u odnosu na kontrolna staništa (Slika 102).



Slika 102. Prosečne godišnje koncentracije askorbinske kiseline (AsA) u listovima *C. epigejos, F. rubra, D. glomerata* i *O. biennis* na kontrolnim staništima (K_{Ko}, K_{Bb} i K_{Bk}) i kasetama različite starosti (K3 i K2) deponije pepela TENT-A u Obrenovcu.

Dvofaktorska analiza varijanse je pokazala da na varijabilnost sadržaja AsA u listovima biljaka na kontrolnim staništima i K2 značajan efekat ima vrsta biljke ($p<0.001$; $p<0.001$) i sezona ($p<0.001$; $p<0.001$), ali je uticaj vrste veći. Na sadržaj AsA u listovima biljaka na K3, značajan uticaj ima vrsta biljke ($p<0.001$) i sezona ($p<0.001$), ali je efekat sezone veći (Tabela 89).

Tabela 89. Uticaj vrste biljaka i sezone na varijabilnost sadržaja askorbinske kiseline (AsA) u listovima ispitivanih vrsta biljaka na različitim staništima.

Parametar	Vrsta biljaka		Sezona		Vrsta biljaka x Sezona	
	F	p	F	p	F	p
K						
AsA	**91.415**	***	49.423	***	29.247	***
K3						
AsA	51.892	***	**137.200**	***	33.898	***
K2						
AsA	**97.763**	***	42.418	***	19.992	***

dvofaktorska ANOVA

S obzirom na to da varijabilnost količine AsA u listovima najviše zavisi od vrste biljaka, korišćena je jednofaktorska ANOVA gde je sezona (maj, jul i avgust) spojena, i time je dobijena prosečna količina askorbinske kiseline u listovima tokom sezone, kako bi se procenile razlike između ispitivanih vrsta biljaka na svakom staništu pojedinačno (Tabela 90).

Analiza je pokazala da se na **kontrolnim staništima** vrsta *O. biennis* odlikuje najvećom količinom Asa u listovima ($p<0.001$).

Na **K3**, vrsta *O. biennis* karakteriše najvećim količinom AsA u listovima ($p<0.05$), *F. rubra* manjom, a *D. glomerata* i *C. epigejos* najmanjom ($p<0.05$; $p<0.01$).

Na **K2**, količina AsA u listovima je tokom cele sezone bila najveća kod *O. biennis* ($p<0.001$).

Tabela 90. Razlike u količini askorbinske kiseline (AsA) u listovima između ispitivanih biljaka na različitim staništima.

	Kontrolna staništa (K_{Ko}, K_{Bb}, K_{Bk})					**K3**					**K2**			
Vrsta	**M (SD)**	***C. epigejos***	***F. rubra***	***D. glomerata***	***O. biennis***	**M (SD)**	***C. epigejos***	***F. rubra***	***D. glomerata***	***O. biennis***	**M (SD)**	***C. epigejos***	***F. rubra***	***O. biennis***
AsA (nmol/g)														
C. epigejos	0.597 (0.166)	-	ns	ns	***	0.906 (0.217)	-	**	ns	**	0.855 (0.254)	-	ns	***
F. rubra	0.595 (0.341)	ns	-	ns	***	1.142 (0.205)	**	-	ns	*	1.075 (0.363)	ns	-	ns
D. glomerata	0.572 (0.147)	ns	ns	-	***	1.013 (0.519)	ns	ns	-	*	/	/	/	/
O. biennis	1.038 (0.162)	***	***	***	-	1.613 (0.834)	**	*	*	-	1.238 (0.206)	***	ns	-

jednofaktorska ANOVA, M (SD), n=15, *p<0.05; *p<0.05; ** p<0.01; **p<0.01; *** p<0.001, ns = nema značajnih razlika.

5.7.5. Sezonska dinamika ukupne DPPH antioksidativne aktivnost u listovima ispitivanih biljaka

C. epigejos

Dvofaktorska analiza varijanse ukupne DPPH antioksidativne aktivnosti u listovima *C. epigejos* je pokazala da na varijabilnost ovog parametra značajno utiče stanište ($p<0.01$) i sezona ($p<0.001$), ali je uticaj sezone veći (Tabela 91).

Tabela 91. Uticaj staništa i sezone na varijabilnost ukupne DPPH antioksidativne aktivnosti u listovima vrste *C. epigejos*.

Parametar	**Stanište**		**Sezona**		**Stanište x Sezona**	
	F	**p**	**F**	**p**	**F**	**p**
DPPH	6.8194	**	**17.333**	***	9.7601	***

dvofaktorska ANOVA

Kod *C. epigejos* je utvrđeno da je ukupna DPPH antioksidativna aktivnost na K2 bila veća u julu ($p<0.001$) i avgustu ($p<0.01$) u odnosu na K_{Ko}, dok razlika nije bilo između K3 i K2 (Tabela 95).

Tokom sezone, na K3 i K2 nisu bile utvrđene razlike u ukupnoj DPPH antioksidativnoj aktivnosti, dok je na K_{Ko} bila veća u maju u odnosu na jul ($p<0.001$) i avgust ($p<0.001$) (Slika 103).

F. rubra

Dvofaktorska analiza varijanse ukupne DPPH antioksidativne aktivnosti u listovima *F. rubra* je pokazala da na varijabilnost ovog parametra značajno utiče stanište ($p<0.001$) i sezona ($p<0.001$), ali da je efekat staništa veći (Tabela 92).

Tabela 92. Uticaj staništa i sezone na varijabilnost ukupne DPPH antioksidativne aktivnosti u listovima vrste *F. rubra*.

Parametar	**Stanište**		**Sezona**		**Stanište x Sezona**	
	F	**p**	**F**	**p**	**F**	**p**
DPPH	**70.819**	***	16.937	***	21.359	***

dvofaktorska ANOVA

Kod *F. rubra* ukupna DPPH antioksidativna aktivnost je na K2 u maju bila veća u odnosu na K_{Bb} ($p<0.001$), dok je na K3 u julu ($p<0.001$) i avgustu ($p<0.001$) bila manja u odnosu na K_{Bb}. Takođe, izmerena je značajno veća ukupna antioksidativna aktivnost u listovima ove vrste na K2 u odnosu na K3 u maju ($p<0.01$), julu ($p<0.001$) i avgustu ($p<0.001$) (Tabela 95).

Tokom sezone, kod *F. rubra* na K3 ukupna DPPH antioksidativna aktivnost je bila veća u maju nego u julu ($p<0.001$) i avgustu ($p<0.001$), na K2 je bila značajno veća u maju samo u odnosu na jul ($p<0.001$), a na K_{Bb} je bila veća u avgustu u odnosu na maj ($p<0.001$) (Slika 103).

D. glomerata

Dvofaktorska analiza varijanse ukupne DPPH antioksidativne aktivnosti u listovima *D. glomerata* je pokazala da na varijabilnost ovog parametra značajno utiče stanište ($p<0.01$) i sezona ($p<0.001$), i da je uticaj sezone veći (Tabela 93).

Tabela 93. Uticaj staništa i sezone na varijabilnost ukupne DPPH antioksidativne aktivnosti u listovima vrste *D. glomerata*.

Parametar	**Stanište**		**Sezona**		**Stanište x Sezona**	
	F	**p**	**F**	**p**	**F**	**p**
DPPH	7.554	**	**61.169**	***	67.192	***

dvofaktorska ANOVA

Kod *D. glomerata* ukupna DPPH antioksidativna aktivnost je na K3 u maju bila slična sa K_{Ko}, u julu je bila značajno manja ($p<0.001$), a u avgustu veća ($p<0.001$) u odnosu na K_{Ko} (Tabela 95).

Tokom sezone, kod *D. glomerata* na K3 ukupna DPPH antioksidativna aktivnost je u maju bila veća u odnosu na jul ($p<0.001$) i avgust ($p<0.05$), dok je na K_{Ko} u avgustu bila veća u odnosu na maj ($p<0.01$) i jul ($p<0.05$) (Slika 103).

O. biennis

Dvofaktorska analiza varijanse ukupne DPPH antioksidativne aktivnosti u listovima *O. biennis* je pokazala da na varijabilnost ovog parametra značajno utiče stanište ($p<0.001$) i sezona ($p<0.001$), i da je uticaj staništa veći (Tabela 94).

Tabela 94. Uticaj staništa i sezone na varijabilnost ukupne DPPH antioksidativne aktivnosti u listovima vrste *O. biennis*.

Parametar	**Stanište**		**Sezona**		**Stanište x Sezona**	
	F	**p**	**F**	**p**	**F**	**p**
DPPH	**65.028**	***	24.577	***	14.123	***

dvofaktorska ANOVA

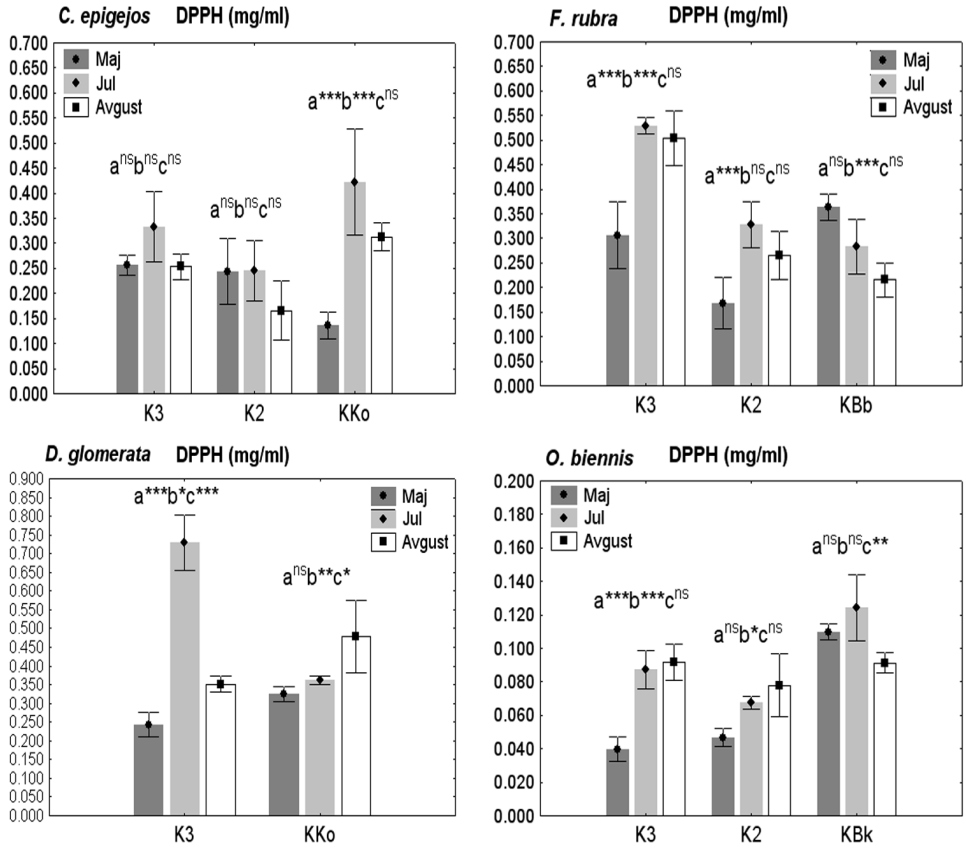
Kod *O. biennis* ukupna DPPH antioksidativna aktivnost je na K3 i K2 u maju ($p<0.001$; $p<0.001$) i julu ($p<0.001$; $p<0.001$) bila značajno veća u odnosu na K_{Bk} (Tabela 95).

Tokom sezone, kod *O. biennis* ukupna DPPH antioksidativna aktivnost je u maju bila veća u odnosu na jul ($p<0.001$) i avgust ($p<0.001$), na K2 je bila značajno veća u maju u odnosu na avgust ($p<0.05$), dok je na K_{Bk} u avgustu bila veća u odnosu na jul ($p<0.01$) (Slika 103).

Tabela 95. Ukupna DPPH antioksidativna aktivnost (mg/ml) u listovima *C. epigejos*, *F. rubra*, *D. glomerata* i *O. biennis* na deponijama kasetama različite starosti (K3 i K2) deponije pepela TENT-A u Obrenovcu i kontrolnim staništima (K_{Ko}, K_{Bb} i K_{Bk}).

	C. epigejos		***F. rubra***		***D. glomerata***		***O. biennis***	
Maj			***Maj***		***Maj***		***Maj***	
K3	M (SD) Min – Max	0.257 (0.021) $a^{ns}b^{ns}$ 0.223 – 0.275	M (SD) Min - Max	0.306 (0.068) a**b^{ns} 0.240 – 0.380	M (SD) Min - Max	0.243 (0.033) 0.208 – 0.280	M (SD) Min - Max	0.040 (0.007) a^{ns} 0.030 – 0.047
K2	M (SD) Min – Max	0.244 (0.065) c^{ns} 0.166 – 0.320	M (SD) Min – Max	0.168 (0.052) 0.114 – 0.230	M (SD) Min – Max	/	M (SD) Min – Max	0.047 (0.005) 0.040 – 0.053
K_{Ko}	M (SD) Min - Max	0.136 (0.026) 0.104 – 0.172	M (SD) Min - Max	0.364 (0.028) c*** 0.323 – 0.393	M (SD) Min - Max	0.325 (0.074) b^{ns} 0.294 – 0.340	M (SD) Min - Max	0.111 (0.005) b***c*** 0.105 – 0.116
Jul			***Jul***		***Jul***		***Jul***	
K3	M (SD) Min – Max	0.333 (0.070) $a^{ns}b^{ns}$ 0.238 – 0.400	M (SD) Min - Max	0.529 (0.016) a***b*** 0.511 – 0.550	M (SD) Min - Max	0.728 (0.074) b*** 0.644 – 0.841	M (SD) Min - Max	0.087 (0.011) a^{ns} 0.075 – 0.103
K2	M (SD) Min – Max	0.245 (0.059) 0.171 – 0.307	M (SD) Min - Max	0.328 (0.047) c^{ns} 0.282 – 0.397	M (SD) Min - Max	/	M (SD) Min - Max	0.067 (0.004) 0.062 – 0.072
K_{Ko}	M (SD) Min - Max	0.422 (0.106) c*** 0.293 – 0.512	M (SD) Min - Max	0.283 (0.055) 0.204 – 0.338	M (SD) Min - Max	0.361 (0.011) 0.350 – 0.380	M (SD) Min - Max	0.124 (0.019) b***c*** 0.104 – 0.154
Avgust			***Avgust***		***Avgust***		***Avgust***	
K3	M (SD) Min - Max	0.253 (0.025) $a^{ns}b^{ns}$ 0.226 – 0.280	M (SD) Min - Max	0.504 (0.055) a***b*** 0.447 – 0.572	M (SD) Min - Max	0.351 (0.020) 0.316 – 0.365)	M (SD) Min - Max	0.092 (0.011) $a^{ns}b^{ns}$ 0.081 – 0.109
K2	M (SD) Min – Max	0.166 (0.059) 0.107 – 0.250	M (SD) Min - Max	0.265 (0.048) c^{ns} 0.200 – 0.321	M (SD) Min - Max	/	M (SD) Min - Max	0.078 (0.019) c^{ns} 0.058 – 0.101
K_{Ko}	M (SD) Min - Max	0.313 (0.028) c** 0.279 – 0.347	M (SD) Min - Max	0.216 (0.034) 0.178 – 0.254	M (SD) Min - Max	0.478 (0.096) b** 0.370 – 0.600	M (SD) Min - Max	0.091 (0.006) 0.085 – 0.100

dvofaktorska ANOVA, n=5, M (SD), Min – minimalne vrednosti, Max - maksimalne vrednosti; (a) K3-K2; (b) K3-K; (c) K2-K; * $p<0.05$; ** $p<0.01$; *** $p<0.001$, ns = nema značajnih razlika.

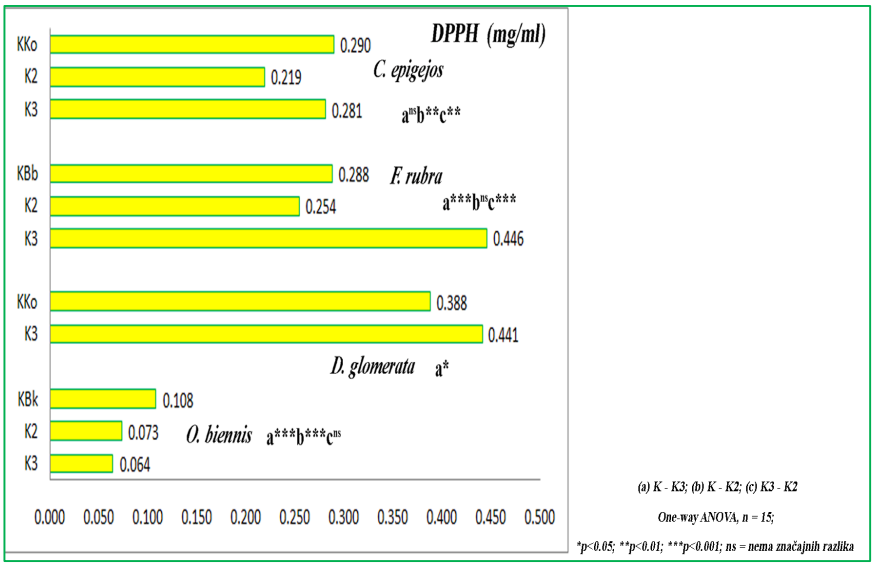


Slika 103. Ukupna DPPH antioksidativna aktivnost u listovima *C. epigejos*, *F. rubra*, *D. glomerata* i *O. biennis* na različitim staništima tokom sezone. Poređenja su sledeća: (a) Maj - Jul; (b) Maj - Avgust; (c) Jul – Avgust (dvofaktorska ANOVA, n = 5; *p<0.05; **p<0.01; *** p<0.001; ns = nema značajnih razlika).

Ukupna DPPH antioksidativna aktivnost je kod ***C. epigejos*** bila najveća na K2. Međutim, nisu bile utvrđene značajne razlike u vrednostima ovog parametra tokom sezone. Kod ***F. rubra*** ukupna DPPH antioksidativna aktivnost u listovima je bila najveća na K2, a najmanja na K3, pri čemu se ona smanjivala tokom leta. U listovima ***D. glomerata*** ukupna DPPH antioksidativna aktivnost je varirala između staništa, a na K3 je tokom sezone bila najveća u proleće. Kod ***O. biennis*** ukupna DPPH antioksidativna aktivnost je na K3 i K2 bila veća u odnosu na kontrolno stanište. Tokom sezone, na K3 i K2 ovaj parametar je bio najveći u proleće i smanjivao se tokom leta.

5.7.5. Prosečna godišnja ukupna DPPH antioksidativna aktivnost u listovima ispitivanih biljaka

Ukupna DPPH antioksidativna aktivnost je kod *C. epigejos* na K2 bila značajno veća. Slično, *O. biennis* na K3 i K2 je imala veću ukupnu DPPH antioksidativnu aktivnost nego na kontrolnom staništu. Vrste *F. rubra* i *D. glomerata* se odlikuju značajno manjom ukupnom DPPH antioksidativnom aktivnošću na K3 u odnosu na kontrolno stanište (Slika 104).



Slika 104. Prosečne godišnje vrednosti ukupne antioksidativne DPPH aktivnosti u listovima *C. epigejos, F. rubra, D. glomerata* i *O. biennis* tokom sezone kontrolnim staništima (K_{Ko}, K_{Bb} i K_{Bk}) i kasetama različite starosti (K3 i K2) deponije pepela TENT-A u Obrenovcu.

Dvofaktorska analiza varijanse je pokazala da na varijabilnost ukupne DPPH antioksidativne aktivnosti u listovima biljaka na kontrolnim staništima, K3 i K2 ima značajan efekat vrsta biljke ($p<0.001$; $p<0.001$; $p<0.001$) i sezona ($p<0.001$; $p<0.001$; $p<0.001$), pri čemu je uticaj vrste veći (Tabela 96).

Tabela 96. Uticaj vrste biljaka i sezone na varijabilnost ukupne DPPH antioksidativne aktivnosti u listovima ispitivanih vrsta biljaka na različitim staništima.

Parametar	Vrsta biljaka		Sezona		Vrsta biljaka x Sezona	
	F	p	F	p	F	p
K						
DPPH	**87.283**	***	9.047	***	20.591	***
K3						
DPPH	**262.511**	***	123.507	***	36.810	***
K2						
DPPH	**72.3002**	***	6.9169	***	6.9206	***

dvofaktorska ANOVA

S obzirom na to da ukupna DPPH antioksidativna aktivnost u listovima najviše zavisi od vrste biljaka, korišćena je jednofaktorska ANOVA gde je sezona (maj, jul i avgust) spojena, te je time dobijena prosečna DPPH antioksidativna aktivnost u listovima tokom sezone, kako bi se procenile razlike između ispitivanih biljaka na svakom staništu pojedinačno (Tabela 97).

Analiza je pokazala da na **kontrolnim staništima**, vrsta *O. biennis* ima veću ukupnu DPPH antioksidativnu aktivnost u listovima od *C. epigejos* i *F. rubra* i *D. glomerata* ($p<0.05$; $p<0.01$; $p<0.001$), pri čemu *D. glomerata* ima najmanju.

Na **K3**, vrsta *O. biennis* ima veću ukupnu DPPH antioksidativnu aktivnost od *C. epigejos*, dok *F. rubra* i *D. glomerata* imaju najmanju ($p<0.01$; $p<0.001$).

Na **K2**, vrsta *O. biennis* ima veću ukupnu DPPH antioksidativnu aktivnost u odnosu na *C. epigejos* i *F. rubra*.

Tabela 97. Razlike u ukupnoj DPPH antioksidativnoj aktivnosti u listovima (mg/ml) između ispitivanih biljaka na različitim staništima.

	Kontrolna staništa (K_{Ko}, K_{Bb}, K_{Bk})					**K3**					**K2**			
Vrsta	**M (SD)**	***C. epigejos***	***F. rubra***	***D. glomerata***	***O. biennis***	**M (SD)**	***C. epigejos***	***F. rubra***	***D. glomerata***	***O. biennis***	**M (SD)**	***C. epigejos***	***F. rubra***	***O. biennis***
						DPPH (mg/ml)								
C. epigejos	0.290 (0.036)	-	ns	***	***	0.281 (0.056)	-	***	***	***	0.219 (0.068)	-	ns	***
F. rubra	0.288 (0.073)	ns	-	**	***	0.446 (0.113)	***	-	ns	***	0.254 (0.082)	ns	-	***
D. glomerata	0.388 (0.086)	***	**	-	***	0.441 (0.020)	***	ns	-	***	/	/	/	/
O. biennis	0.108 (0.018)	***	***	***	-	0.073 (0.026)	***	***	***	-	0.064 (0.017)	***	***	-

jednofaktorska ANOVA, M (SD), n=15, *p<0.05; *p<0.05; ** p<0.01; **p<0.01; *** p<0.001, ns = nema značajnih razlika.

5.8. UKUPAN BIOHEMIJSKI ODGOVOR LISTOVA ISPITIVANIH BILJAKA NA STRES

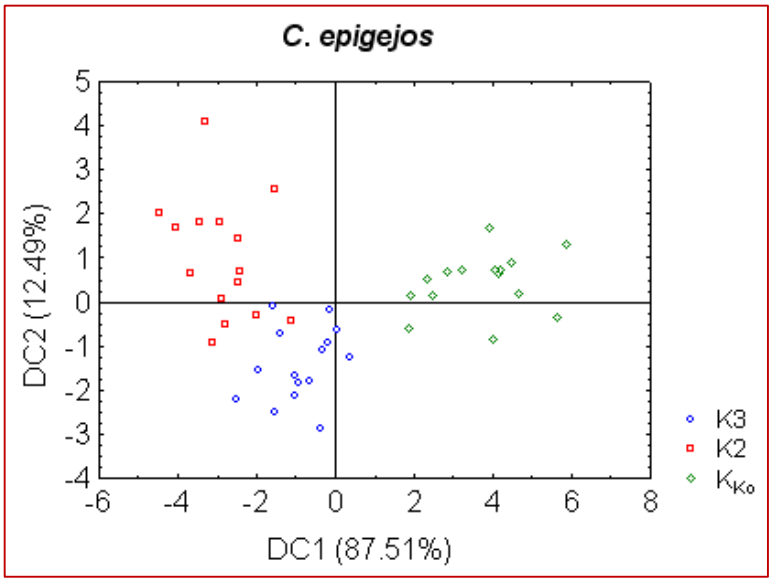
Kanonijskom diskriminacionom analizom bile su utvrđene razlike u biohemijskim parametrima u listovima (Chl *a*, Chl *b*, Tot Carot, Antocijani, SF, VF, MDA, AsA i DPPH) kod svake ispitivane biljke između različitih staništa (K_{Ko}, K_{Bb} i K_{Bk}).

Na Slici 105 i 106 su prikazani rezultati kanonijske diskriminacione analize za vrstu ***C. epigejos***. Prema prvoj diskriminacionoj funkciji (DC1) koja objašnjava najveći procenat varijabilnosti od 87.51%, najizraženije je izdvajanje *C. epigejos* na K_{Ko} od iste vrste na K3 i K2, a razlikama najviše pridonose parametri, kao što su: AsA i Chl *a*. Druga diskriminaciona funkcija (DC2) objašnjava manji procenat varijabilnosti od 12.49% i prema njoj se odvaja *C. epigejos* na K3 od iste vrste na K2. Varijabla koja najviše pridonosi razlikama je DPPH.

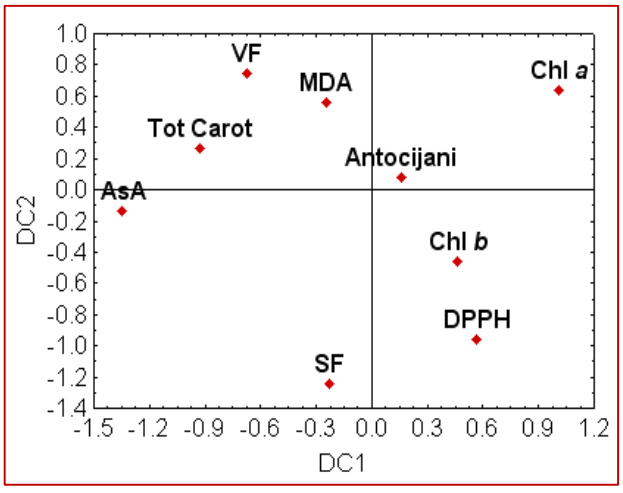
Na Slici 107 i 108 su prikazani rezultati kanonijske diskriminacione analize za vrstu ***F. rubra***. Prema prvoj diskriminacionoj funkciji (DC1) koja objašnjava procenat varijabilnosti od 80.17%, jasno se razdvaja *F. rubra* na K3 od iste vrste na K2 i K_{Bb}, a najveći doprinos tim razlikama daju parametri, kao što su: Tot Carot i Chl *a*. Kumulativni procenat varijanse za drugu diskriminacionu funkciju (DC2) iznosi 19.38% i prema njoj se zapaža razdvajanje *F. rubra* na K_{Bb} od vrste na K2, a razlici najviše pridonosi Tot Carot.

Na Slici 109 i 110 su prikazani rezultati kanonijske diskriminacione analize za vrstu ***D. glomerata***. Prema prvoj diskriminacionoj funkciji (DC1) koja objašnjava procenat varijabilnosti od 50.17%, najizraženije je izdvajanje *D. glomerata* na K3 (jul) od iste vrste na K_{Ko} (jul) i K3 (avgust) a razlikama najviše pridonose AsA i VF. Prema drugoj diskriminacionoj funkciji (DC2) koja iznosi 34.83% jasno se razdvaja *D. glomerata* na K_{Ko} (maj, jul, avgust) od iste vrste na K3 (maj, avgust), a najveći značaj u tome razdvajanju ima Chl *b* i antocijani.

Na Slici 111 i 112 su prikazani rezultati kanonijske diskriminacione analize za vrstu ***O. biennis***. Prva diskriminaciona funkcija (DC1) objašnjava 70.35% ukupne varijabilnosti i prema njoj se jasno izdvaja *O. biennis* na K_{Bk} od iste vrste na K3 i K2. Razlikama najviše pridonose DPPH i VF. Prema drugoj diskriminacionoj funkciji (DC2) koja iznosi 29.65% razdvaja se *O. biennis* na K3 od iste vrste na K2, i razlikama najviše pridonosi Tot Carot.

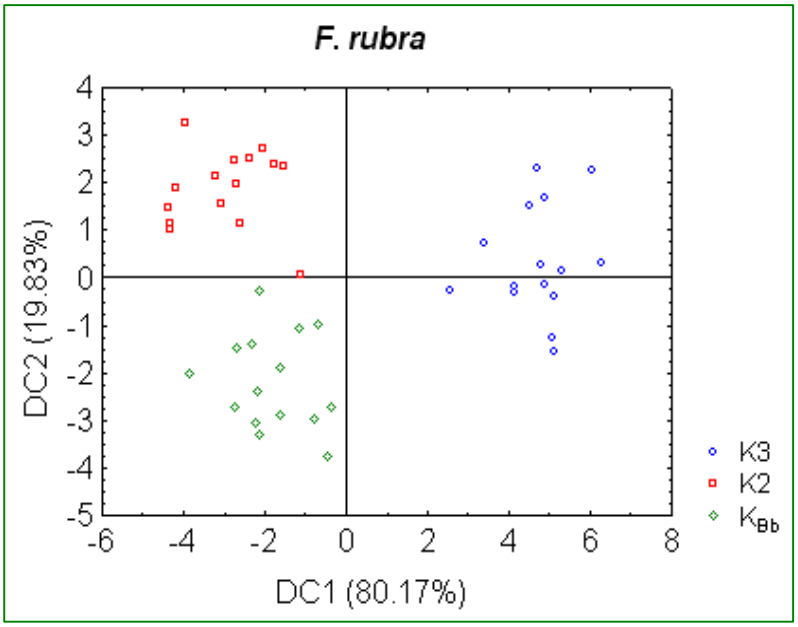


Slika 105. Kanonijska diskriminaciona analiza – grupisanje u odnosu na staništa na osnovu biohemijskih parametara u listovima *C. epigejos*.

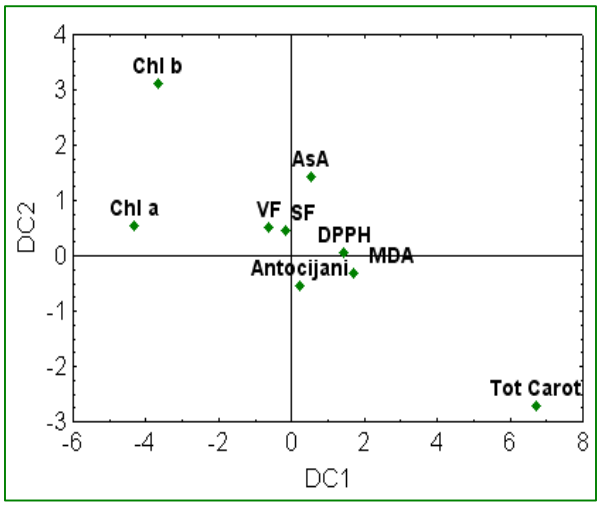


	Diskriminaciona funkcija 1 DC1	Diskriminaciona funkcija 2 DC2
Chl *a*	**1.01080**	0.63540
Chl *b*	0.46595	-0.46712
Tot Carot	-0.92332	0.25772
Antocijani	0.16303	0.07362
SF	-0.22831	-1.24643
VF	-0.66893	0.74406
MDA	-0.24330	0.55216
AsA	**-1.34106**	-0.14268
DPPH	0.56913	**-0.96133**
Eigen – vrednost	8.10874	1.15689
Kumulativni procenat	0.87514	1.00000

Slika 106. Standardizovani koeficijenati za kanonijske varijable; doprinos biohemijskih parametara varijabilnosti u listovima vrste *C. epigejos* na različitim staništima.

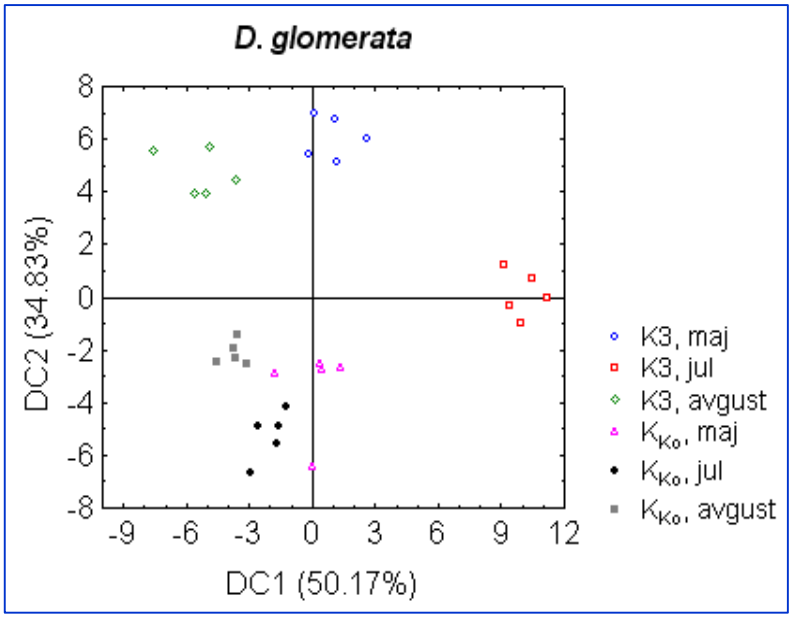


Slika 107. Kanonijska diskriminaciona analiza – grupisanje u odnosu na staništa na osnovu biohemijskih parametara u listovima *F. rubra*.

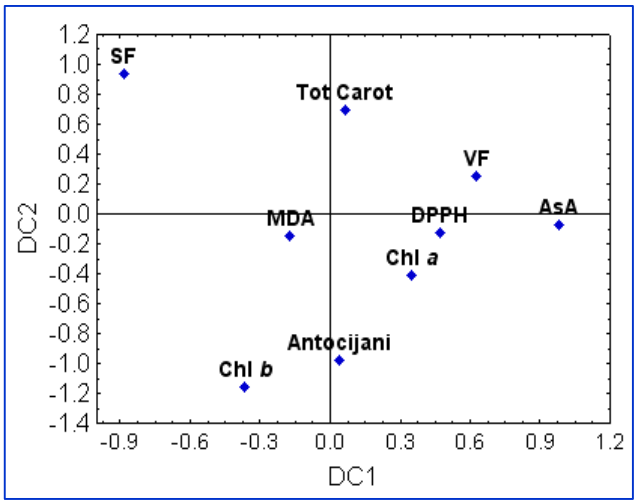


	Diskriminaciona funkcija 1 DC1	Diskriminaciona funkcija 2 DC2
Chl *a*	**-4.30633**	0.53179
Chl *b*	-3.66172	3.09039
Tot Carot	**6.72165**	**-2.72730**
Antocijani	0.22330	-0.55982
SF	-0.13389	0.45416
VF	-0.60577	0.50222
MDA	1.73125	-0.32741
AsA	0.53956	1.42713
DPPH	1.45045	0.04386
Eigen – vrednost	12.26000	3.03202
Kumulativni procenat	0.80173	1.00000

Slika 108. Standardizovani koeficijenati za kanonijske varijable; doprinos biohemijskih parametara varijabilnosti u listovima vrste *F. rubra* na različitim staništima.

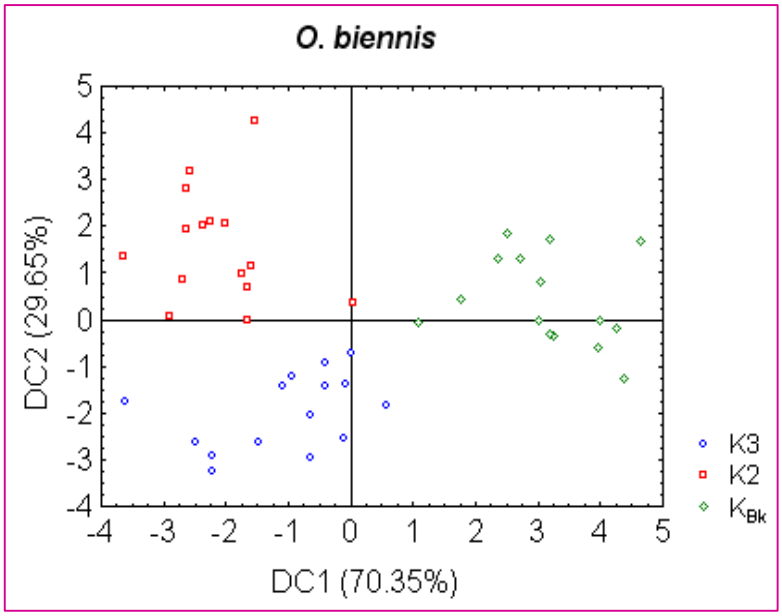


Slika 109. Kanonijska diskriminaciona analiza – grupisanje u odnosu na staništa na osnovu biohemijskih parametara u listovima *D. glomerata*.

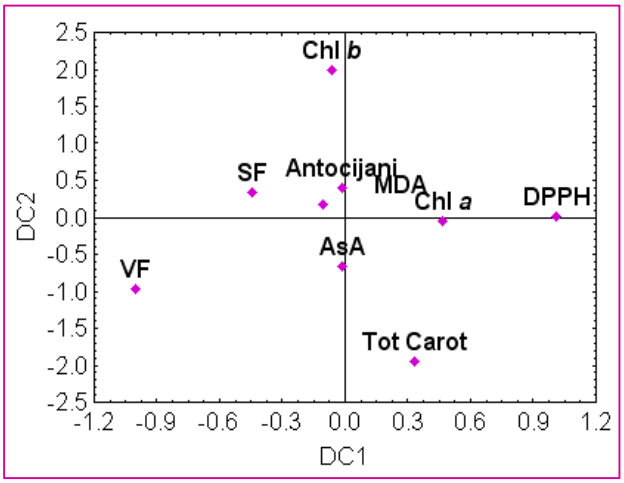


	Diskriminaciona funkcija 1 DC1	Diskriminaciona funkcija 2 DC2
Chl *a*	0.35005	-0.41992
Chl *b*	-0.36292	**-1.16375**
Tot Carot	0.06460	0.68518
Antocijani	0.04034	**-0.98118**
SF	**-0.88262**	0.93094
VF	0.62990	0.24540
MDA	-0.16909	-0.15527
AsA	**0.98070**	-0.07415
DPPH	0.47274	-0.12976
Eigen – vrednost	30.77801	21.36647
Kumulativni procenat	0.50170	0.84998

Slika 110. Standardizovani koeficijenati za kanonijske varijable; doprinos biohemijskih parametara varijabilnosti u listovima vrste *D. glomerata* na različitim staništima.



Slika 111. Kanonijska diskriminaciona analiza – grupisanje u odnosu na staništa na osnovu biohemijskih parametara u listovima *O. biennis*.



	Diskriminaciona funkcija 1 DC1	Diskriminaciona funkcija 2 DC2
Chl *a*	0.466962	-0.06838
Chl *b*	-0.062543	1.97870
Tot Carot	0.337660	**-1.96459**
Antocijani	-0.012049	0.37931
SF	-0.441391	0.33680
VF	**-0.998409**	-0.97119
MDA	-0.099709	0.17010
AsA	-0.010079	-0.67596
DPPH	**1.015038**	-0.00389
Eigen – vrednost	5.591897	2.35702
Kumulativni procenat	0.703479	1.00000

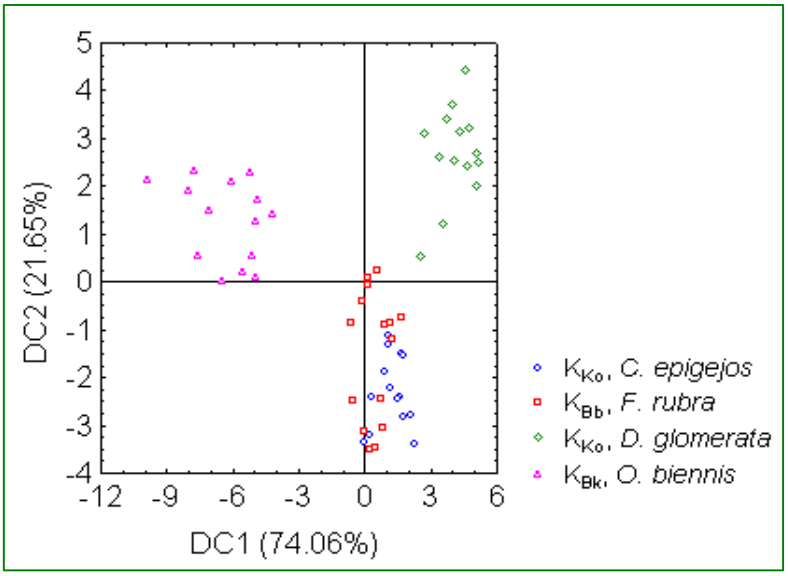
Slika 112. Standardizovani koeficijenati za kanonijske varijable; doprinos biohemijskih parametara varijabilnosti u listovima vrste *O. biennis* na različitim staništima.

Kanonijskom diskriminacionom analizom utvrđene su razlike između ispitivanih vrsta na osnovu biohemijskih parametara.

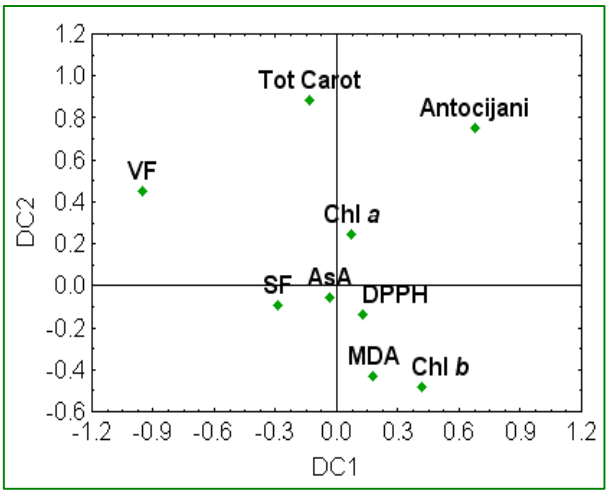
Na Slici 113 i 114 su prikazani rezultati **kanonijske diskriminacione analize na kontrolnim staništima** (K_{Ko}, K_{Bb}, K_{Bk}). Prva diskriminaciona funkcija (DC1) objašnjava 74.06% varijabilnosti i prema njoj se *O. biennis* na K_{Bk} jasno razdvaja od ostalih ispitivanih biljaka, i tim razlikama najviše pridonose VF. Druga diskriminaciona funkcija (DC2) objašnjava 21.65% ukupne varijabilnosti i prema njoj se *O. biennis* na K_{Bk} i *C. epigejos* na K_{Ko} jasno izdvajaju od *F. rubra* i *D. glomerata*, a najveći značaj u tome imaju Tot Carot i Antocijani.

Na Slici 115 i 116 su prikazani rezultati **kanonijske diskriminacione analize na K3**. Kumulativni procenat varijanse za prvu diskriminacionu funkciju (DC1) iznosi 91.56%, a za drugu diskriminacionu funkciju (DC2) 5.01%. Prema prvoj diskriminacionoj funkciji (DC1) zapaža se jasno razdvajanje *O. biennis* od ostalih ispitivanih biljaka, a tim razlikama najviše pridonose parametri, kao što su VF i DPPH. Prema drugoj diskriminacionoj funkciji (DC2) mogle bi se najviše izdvojiti *F. rubra* od *D. glomerata*, a razlikama najviše pridonosi varijabla Chl *a*.

Na Slici 117 i 118 su prikazani rezultati **kanonijske diskriminacione analize na K2**. Prva diskriminaciona funkcija (DC1) objašnjava 78.15% varijabilnosti i prema njoj se *O. biennis* jasno razdvaja od ostalih ispitivanih biljaka, a tim razlikama najviše pridonose varijable, kao što su VF i DPPH. Druga diskriminaciona funkcija (DC2) objašnjava 21.85% varijanse i prema njoj se razdvajaju *C. epigejos* od *F. rubra*, a tome najviše pridonosi Chl *b*.

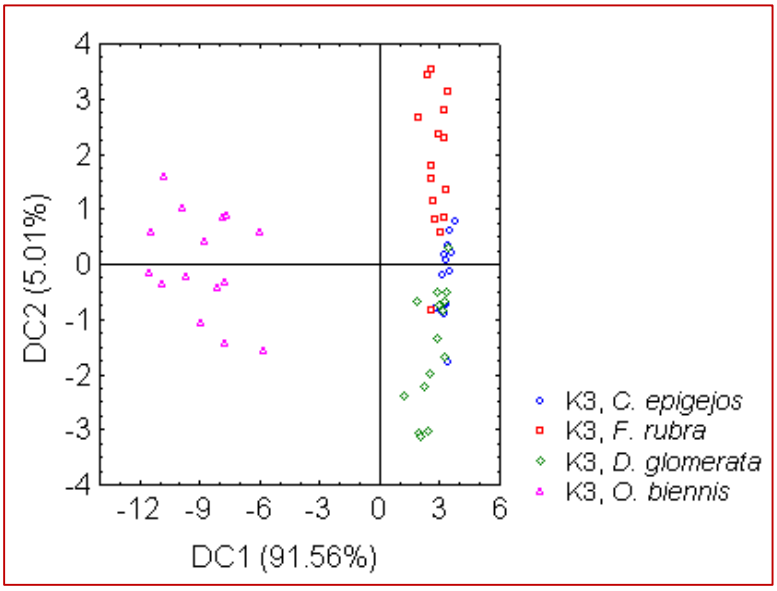


Slika 113. Kanonijska diskriminaciona analiza – grupisanje prema ispitivanim biljkama na osnovu biohemijskih parametara u listovima na kontrolnim staništima.

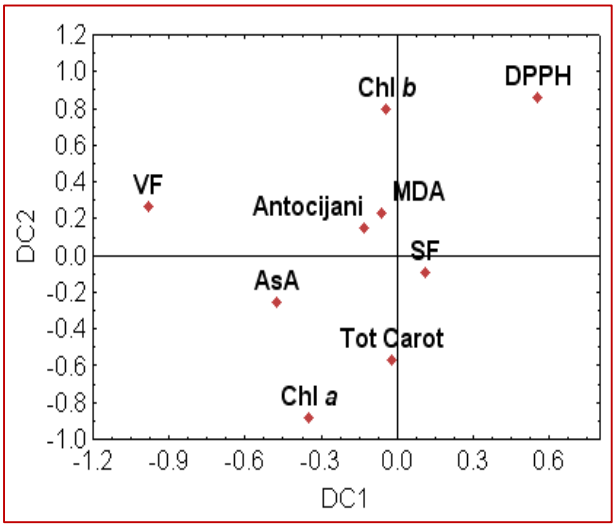


	Diskriminaciona funkcija 1 DC1	Diskriminaciona funkcija 2 DC2
Chl *a*	0.07144	0.240343
Chl *b*	0.42375	-0.488429
Tot Carot	-0.12854	**0.880973**
Antocijani	0.68109	**0.751207**
SF	-0.28720	-0.098258
VF	**-0.95136**	0.446369
MDA	0.18365	-0.434807
AsA	-0.03097	-0.060390
DPPH	0.13173	-0.143879
Eigen – vrednost	15.17451	4.434506
Kumulativni procenat	0.74065	0.957098

Slika 114. Standardizovani koeficijenati za kanonijske varijable; doprinos biohemijskih parametara varijabilnosti u listovima ispitivanih biljaka na kontrolnim staništima.

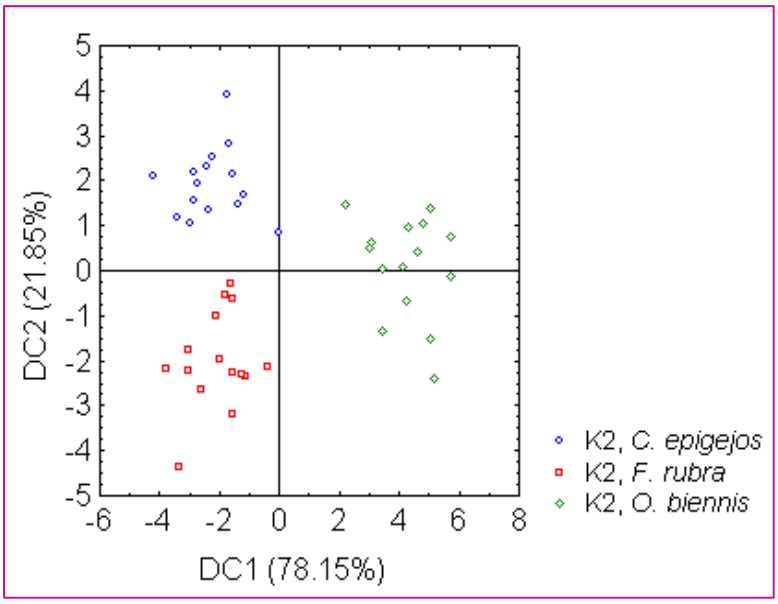


Slika 115. Kanonijska diskriminaciona analiza – grupisanje prema ispitivanim biljkama na osnovu biohemijskih parametara u listovima na K3.

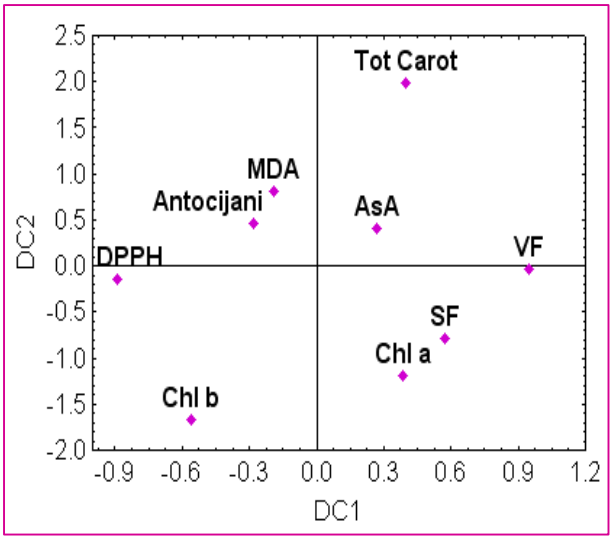


	Diskriminaciona funkcija 1 DC1	Diskriminaciona funkcija 2 DC2
Chl *a*	-0.34710	**-0.884042**
Chl *b*	-0.04053	0.795580
Tot Carot	-0.01791	-0.571827
Antocijani	-0.12926	0.142520
SF	0.11364	-0.093437
VF	**-0.97620**	0.264098
MDA	-0.06026	0.230052
AsA	-0.47517	-0.261745
DPPH	**0.55797**	0.858538
Eigen – vrednost	27.99187	1.532045
Kumulativni procenat	0.91558	0.965696

Slika 116. Standardizovani koeficijenati za kanonijske varijable; doprinos biohemijskih parametara varijabilnosti u listovima ispitivanih biljaka na K3.



Slika 117. Kanonijska diskriminaciona analiza – grupisanje prema ispitivanim biljkama na osnovu biohemijskih parametara u listovima na K2.



	Diskriminaciona funkcija 1 DC1	Diskriminaciona funkcija 2 DC2
Chl *a*	0.388691	-1.20648
Chl *b*	-0.557635	**-1.68347**
Tot Carot	0.403568	1.97116
Antocijani	-0.277936	0.44669
SF	0.573645	-0.80062
VF	**0.951139**	-0.04394
MDA	-0.190285	0.79364
AsA	0.272541	0.40477
DPPH	**-0.883686**	-0.15873
Eigen – vrednost	9.860394	2.75664
Kumulativni procenat	0.781514	1.00000

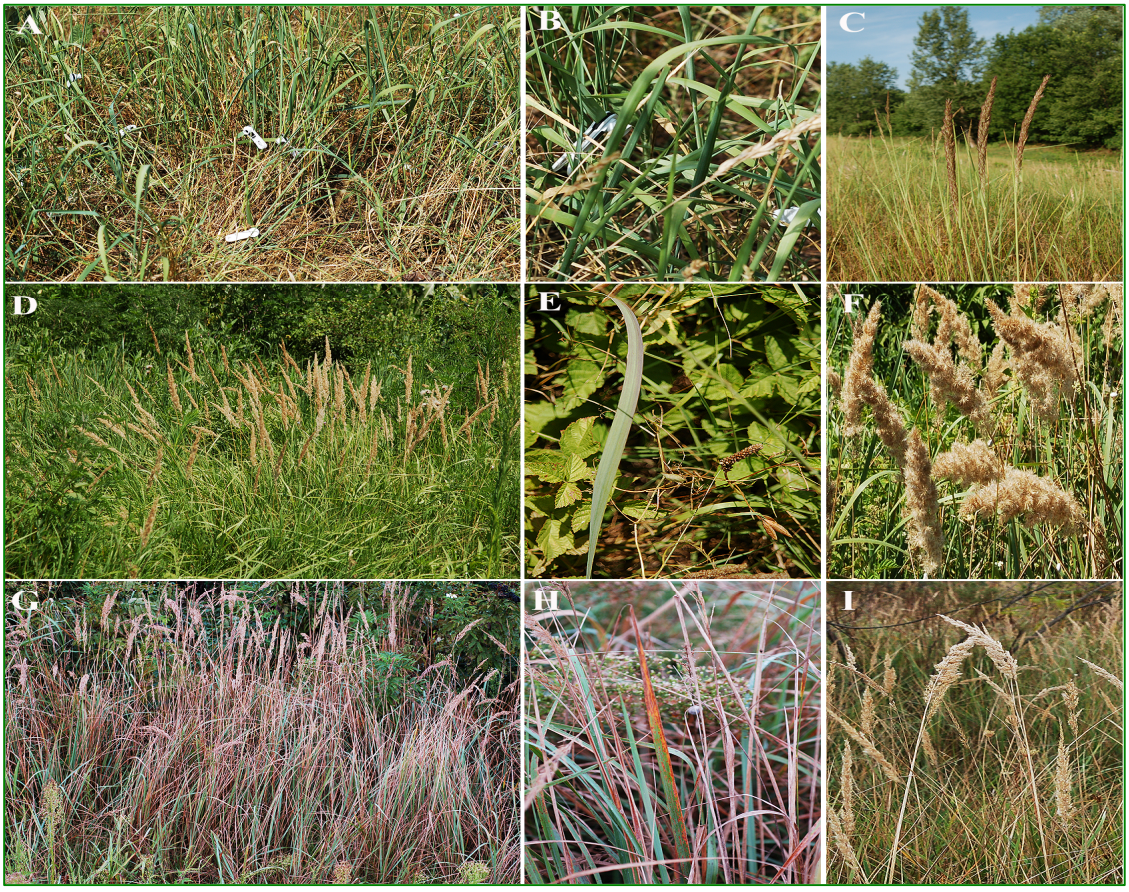
Slika 118. Standardizovani koeficijenati za kanonijske varijable; doprinos biohemijskih parametara varijabilnosti u listovima ispitivanih biljaka na K2.

5.9. MORFOLOŠKE KARAKTERISTIKE LISTOVA ISPITIVANIH BILJAKA

5.9.1. Morfoške karakteristike i simptomi oštećenja listova biljaka

C. epigejos

Na **kontrolnom staništu (K_{Ko})** u **maju** je bilo uočeno prisustvo velikog broja mladih izdanaka sa dugim, hrapavim listovima tamno zelene boje i metličastim cvastima na vrhu (Slika 119 A, B, C). U **julu** su listovi bili zeleno ljubičaste boje i biljke su bile u fazi cvetanja i plodonošenja (Slika 119 D, E, F). U **avgustu** se završila faza cvetanja i plodonošenja (Slika 119 G, H), a na listovima su se pojavile hloroze svetlo zelene i žute boje, marginalne i vršne nekroze smeđe boje (Slika 119 H). Takođe, zapažen je veliki broj suvih listova (Slika 119 G - I).



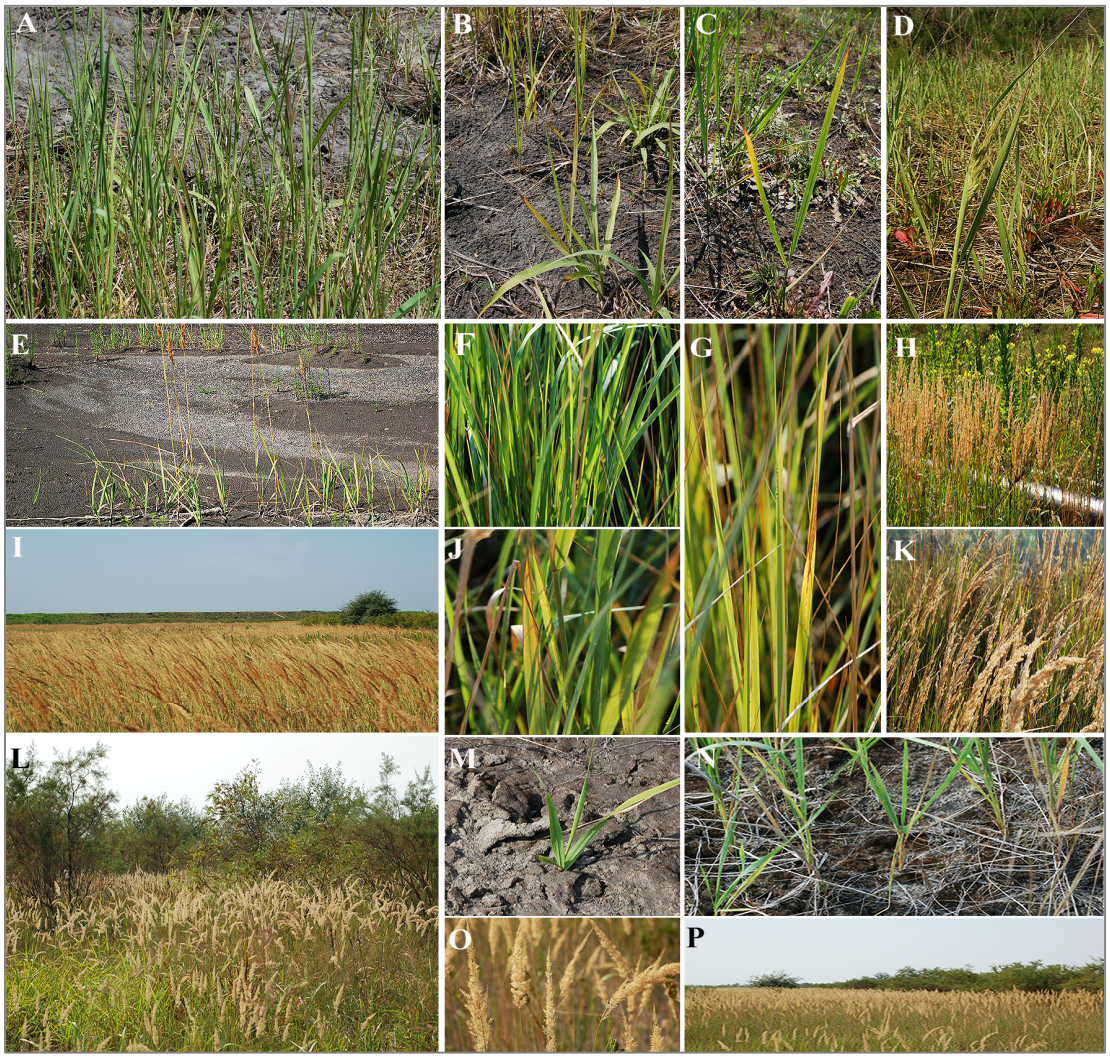
Slika 119. Vrsta *C. epigejos* na K_{Ko} u maju (A-C), julu (D-F) i avgustu (G-I) (foto Gajić, G.).

Na **K3**, u **maju** je bio uočen veliki broj klijanaca sa listovima tamno zelene boje (Slika 120 A), juvenilne individue (1-3 lista, visine 30-40 cm) (Slika 120 B), kao i starije individue sa listovima iz prethodne sezone (visine 50-70 cm). Na mladim generativnim izdancima su se pojavile metličaste cvasti (Slika 120 C). U **julu** su listovi klijanaca i juvenilnih jedinki bili tamno zelene boje. Na pojedininim listovima su se pojavile vršne nekroze smeđe boje (Slika 120 D, E, F). U **avgustu** su listovi klijanaca i juvenilnih jedinki najčešće bili tamno zelene boje, ali se povećao broj listova sa hlorozama žute boje i vršnim nekrozama smeđe boje (Slika 120 G, I, H).



Slika 120. Vrsta *C. epigejos* na K3 u maju (A-C), julu (D-F) i avgustu (G-I) (foto: Gajić, G.).

Na **K2**, u **maju** su bili zapaženi brojni klijanci, juvenilne, virginilne i mlade generativne individue (Slika 121 A-D). Listovi juvenilnih i virginilnih jedinki su bili tamno zelene boje. Kod klijanaca su uočeni simptomi oštećenja listova u vidu hloroza svetlo zelene i žute boje, marginalnih i vršnih nekroza tamno smeđe do tamno crvene boje (Slika 121 B, C). U **julu** su na staništu dominirali stariji generativni izdanci sa listovima svetlo do tamno zelene boje (Slika 121 E, H, I, K, F). Na pojedinim listovima zapažene su vršne hloroze žute boje (Slika 121 J). Jedan broj listova je bio žute boje sa vršnim nekrozama smeđe boje (Slika 121 G). U **avgustu** su najveći prostor kasete zauzimale generativne jedinke (Slika 1215 L, O, P) dok su klijanci ispoljili simptome oštećenja u vidu hloroza žute boje (Slika 121 M, N).



Slika 121. Vrsta *C. epigejos* na K2 u maju (A-D), julu (E-K) i avgustu (L-P) (foto: Gajić, G.)

F. rubra

Na **kontrolnom staništu (K_{Bb})** su u **maju** bili zapaženi gusti busenovi trave sa zdravim listovima zelene boje (Slika 122 A-C). U **julu** su dominirali listovi svetlo zelene boje, dok je istovremeno bio prisutan jedan broj suvih listova žute boje (Slika 122 D-F). U **avgustu** su bili zapaženi gusti busenovi ove vrste sa listovima tamno zelene do sivo zelene boje (Slika 122 G-I).



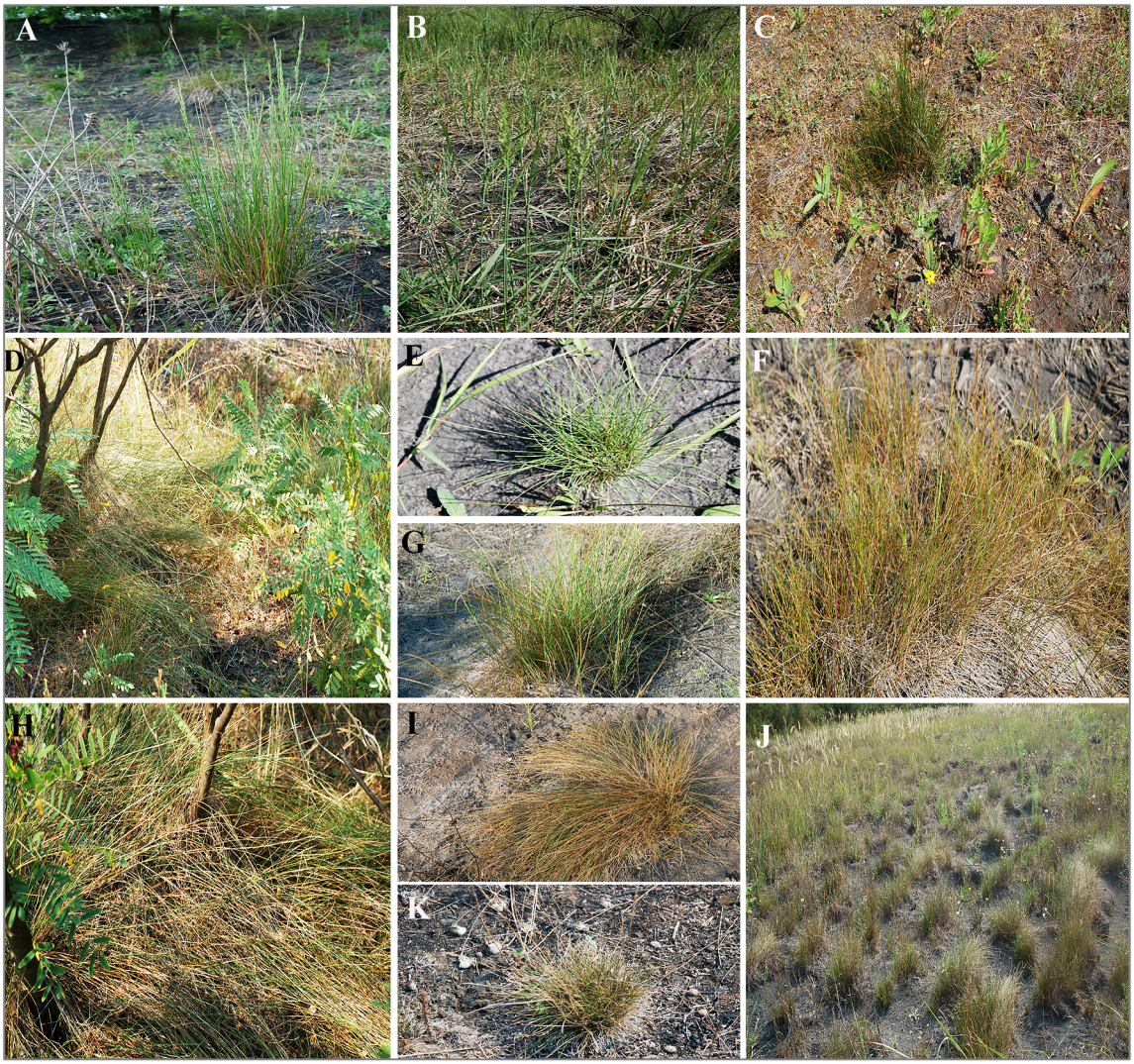
Slika 122. Vrsta *F. rubra* na K_{Bb} u maju (A-C), julu (D-F) i avgustu (G-I) (foto: Gajić, G.).

Na **K3**, u **maju** je bio zapažen veliki broj busenova različite veličine sa listovima zelene boje. Na jednom broju busenova uočavali su se klasići (Slika 123 A, B, C, D). Tokom **jula** na staništu su se mogli uočiti pored zdravih i potpuno suvi busenovi (Slika 123 E, F, G). U **avgustu** su bile zapažene slične promene, s tim što je broj potpuno osušenih busenova *F. rubra* bio znatno povećan (Slika 123 H-L).



Slika 121. Vrsta *F. rubra* na K3 u maju (A-D), julu (E-G) i avgustu (H-L) (foto: Gajić, G.).

Na **K2**, u **maju** su bili konstatovani busenovi sa zdravim listovima i klasićima (Slika 124 A, B, C). U **julu** su pojedini busenovi bili gusti i kao tepih prekrivaju površinu pepela, dok su neki potpunosti zeleni, a kod nekih je prisutno sušenje listova (Slika 124 D, E, G). Takođe, uočeni su simptomi oštećenja listova u formi hloroza i nekroza (Slika 124 F). U **avgustu** je bio povećan broj busenova sa suvim listovima (Slika 124 H-K).



Slika 124. Vrsta *F. rubra* na K2 u maju (A-C), julu (D-G) i avgustu (H-K) (foto: Gajić, G.).

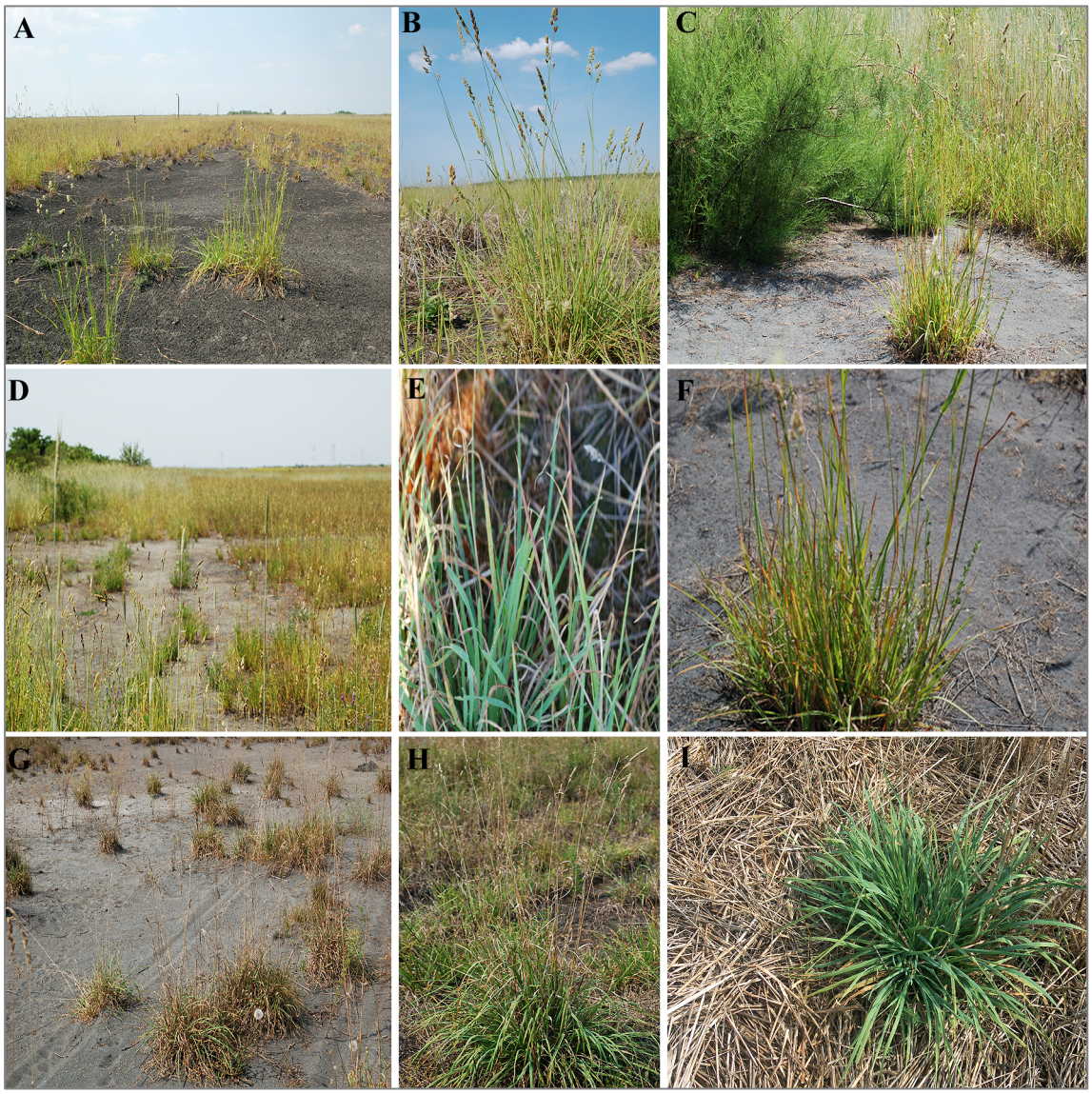
D. glomerata

Na **kontrolnom staništu (K_{Ko})**, u **maju** bili su zapaženi busenovi sa dugim, ravnim i mekanim listovima zelene boje (Slika 125 A). Biljke su u fazi cvetanja, te se jasno uočavaju metlice sa zbijenim klasićima koji nose cvetove ljubičaste boje (Slika 125 B, C). U **julu** su na staništu bili uočeni gusti busenovi sa zelenim listovima (Slika 119 D, E) i osušenim metlicama (Slika 125 F). U **avgustu** biljke su izgledale slično kao u julu, ali je uočen veći broj suvih listova (Slika 125 G, I, H).



Slika 125. Vrsta *D. glomerata* na K_{Ko} u maju (A-C), julu (D-F) i avgustu (H-I) (foto: Gajić, G.).

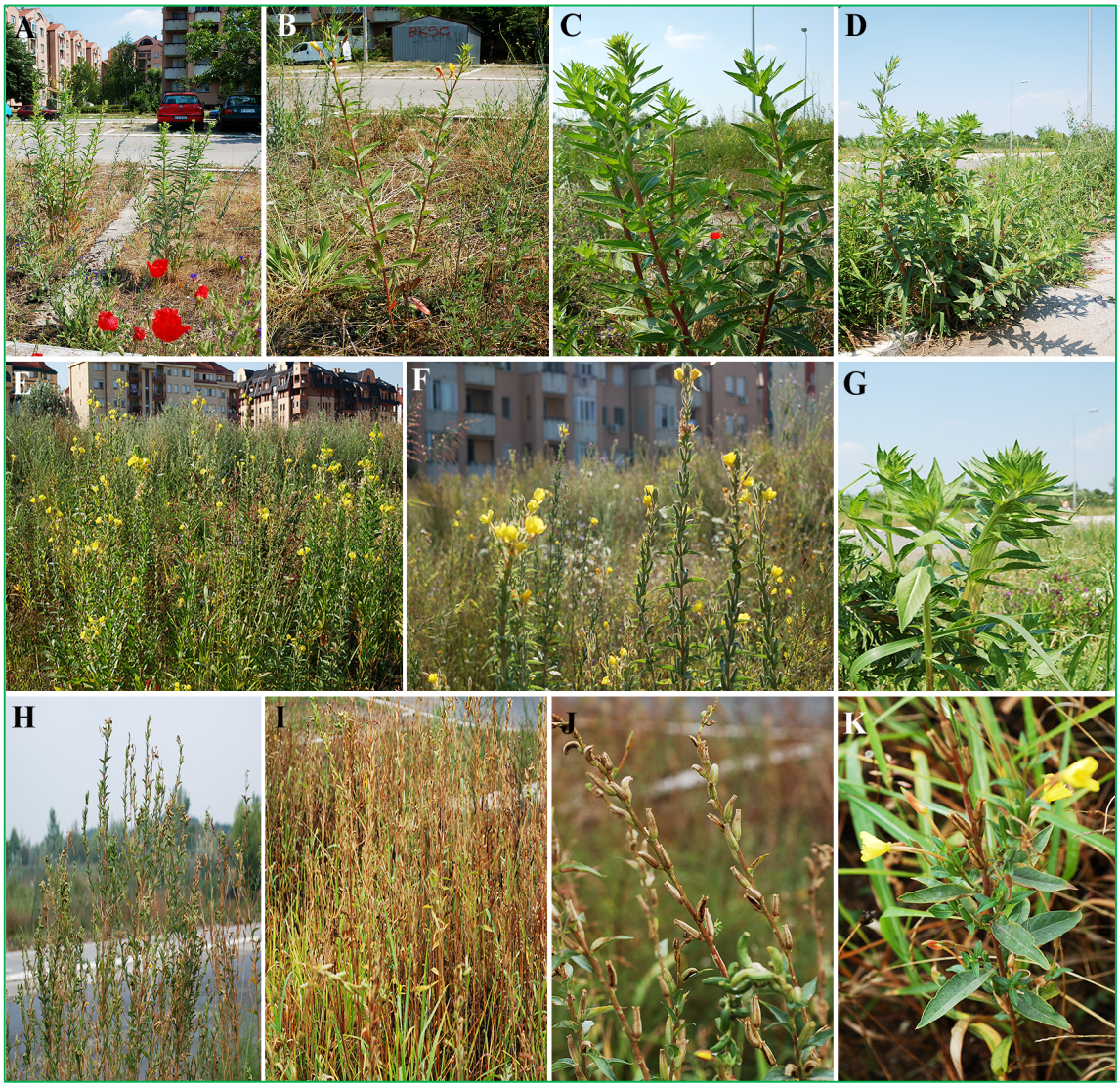
Na **K3**, u **maju** je bio konstatovan veliki broj gustih busenova sa dugačkim listovima tamno zelene i svetlo zelene boje u fazi cvetanja (Slika 126 A-C). U **julu** je većina busenova bila sa velikim brojem listova zelene, svetlo zelene, žute i smeđe boje (Slika 126 E, F). U **avgustu** su bili brojniji busenovi sa suvim listovima u odnosu na busenove sa zelenim listovima (Slika 126 G - I).



Slika 126. Vrsta *D. glomerata* na K3 u maju (A-C), julu (D-F) i avgustu (H-I) (foto: Gajić, G.).

O. biennis

Na **kontrolnom staništu (K_{Bk})** su u **maju** bile zapažene individue *O. biennis* koje su imale krupne listove zelene boje (Slika 127 C, D) na stabljikama visine do 1 m. Biljke su bile u fazi svetanja, a cvetovi su bili žute boje (Slika 127 A-D). U **julu** je faza cvetanja bila izražena (Slika 127 E, F, G). U **avgustu** su još poneke individue bile u cvetu, a većina drugih u fazi plodonošenja sa čaurama zeleno smeđe boje (Slika 127 H, I, J, K).



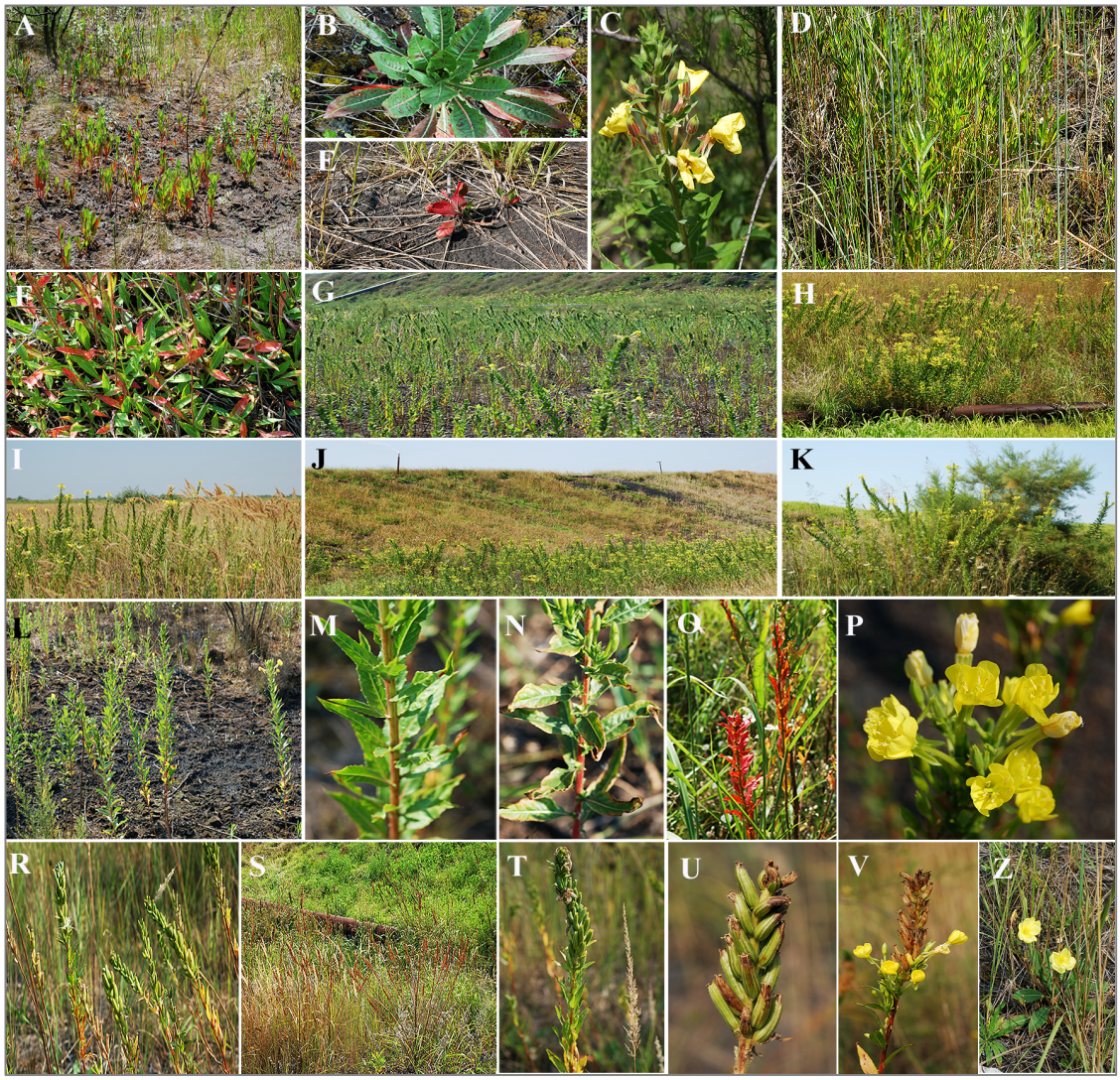
Slika 127. Vrsta *O. biennis* na K_{Bk} u maju (A-D), julu (E-G) i avgustu (H-K) (foto: Gajić, G.).

Na **K3**, u **maju** je bio zapažen veliki broj rozeta sa listovima zeleno crvene boje (Slika 128 A, B). Mali broj individua je bio u fazi cvetanja (Slika 128 A). U **julu** su se na ovom staništu mogle videti individue sa stabljikama različite visine i sa dobro razvijenim listovima zelene boje (Slika 128 H-J). U **avgustu** su mogle da se uoče rozete sa listovima zelene do zeleno crvene boje, kao i individue sa razvijenim stabljikama sa suvim čaurama na vrhu (Slika 128 R, S, L, T). Takođe su bile prisutne potpuno suve biljke (Slika 128 K). Simptomi oštećenja listova ove vrste su bili vidljivi u formi marginalnih i vršnih hloroza žute boje i nekroza smeđe boje (Slika 128 M, N, O).



Slika 128. Vrsta *O. biennis* na K3 u maju (A-G), julu (H-J) i avgustu (K-T) (foto: Gajić, G.).

Na **K2**, u **maju** je bio zapažen veliki broj rozeta sa listovima zeleno crvene boje (Slika 129 A, B, C). Brojne su bile jedinke visine od 50-70 cm sa listovima zelene boje (Slika 129 D). Pojedine individue su bile u fazi cvetanja (Slika 129 C). U **julu** su takođe bile zapažene rozete, ali i individue visoke oko 1.5 m sa listovima zelene boje i cvetovima žute boje (Slika 129 F-K). Simptomi oštećenja na listovima su bili u vidu vršnih nekroza smeđe boje i marginalnih hloroza žute boje (Slika 129 M, N). Pojedine individue su imale listove crvene boje (Slika 129 O). U **avgustu** je na staništu bilo poptuno suvih biljaka (Slika 123 S), dok su ostale imale listove zelene i žute boje i čaure zelene do smeđe boje (Slika 129 R-Z).



Slika 129. Vrsta *O. biennis* na K2 u maju (A-D), julu (F-P) i avgustu (R-Z) (foto: Gajić, G.).

5.9.2. Struktura periferijske zaštite listova biljaka i SEM (EDS) analiza deponovanih čestica

C. epigejos

Površina lista *C. epigejos* na **kontrolnom staništu** je neravna, a epidermalne ćelije su dugačke, mogu biti udubljene i naglašeno uzdignute (Slika 130 A). Sitni kristali prekrivaju celu površinu lista (Slika 130 B). Prisutne su i trihome u vidu bodlje, koje su jednoćelijske, u osnovi široke, pri vrhu zašiljene (Slika 130 A). Na površini listova bio je uočen mali broj čestica različitog oblika i veličine, raspoređene uglavnom u udubljenima ili na površini izdignutih ćelija epidermisa (Slika 130 A, B). Dijametar čestica se kretao od 12.1 – 51.8 μm (Slika 130 B). Spektralna analiza hemijskog sastava čestica na površini listova *C. epigejos* na kontrolnom staništu je pokazala prisustvo sledećih hemijskih elemenata: C, O, Al, Si, Cl, K i Ca, pri čemu su koncentracije C bile najveće, a Cl najmanje (Slika 131 A).

Na **K3**, površina listova *C. epigejos* nije bila prektivena kristalima (Slika 130 C). Prisutan je bio veliki broj trihoma u vidu bodlje (Slika 130 C, D). Oštećenja površinske strukture listova su bila zapažena u vidu manjih lezija kutikule. Uočen je veliki broj sitnih čestica pepela na površini listova, nepravilnog oblika ili su čestice bile grupisane u agregate. Dijametar najkrupnijih čestica se kretao od 15.6 – 31.7 μm (Slika 130 D). SEM (EDS) analiza je pokazala prisustvo istih hemijskih elemenata kao na kontrolnom staništu, s tim što su bili detetektovani Fe i Mo, za koje je i bilo utvrđeno da ulaze u sastav pepela. Rezultati su pokazali da su koncentracije C bile najveće, a Fe najmanje (Slika 131 B).

Na **K2,** stepen oštećenja kutikule i količina deponovanih čestica pepela je bila slična kao na K3. Na površini listova *C. epigejos* bilo je uočeno odsustvo kristala, veliki broj trihoma, oštećenja u vidu lezija kutikule, kao i brojne čestice pepela sfernog ili nepravilnog oblika. Dijametar čestica se kretao od 19.6 – 35.8 μm (Slika 130 E, F). SEM (EDS) spektralna analiza je pokazala prisustvo istih hemijskih elemenata kao na K_{Ko} i K3, s tim što su detektovani Mg, Ti i Cu, koji takođe ulaze u sastav pepela (Slika 131 C). Najveće koncentracije su izmerene za C, a najmanje za Cu (Slika 131 C).

F. rubra

Površina lista *F. rubra* na **kontrolnom staništu** je neravna. Epidermis je izgrađen od dugačkih ćelija, raspoređenih u nizove, i to tako da jedan niz čine ispupčene, vijugave i uže epidermalne ćelije, a drugi niz izgrađuju šire i manje ispupćene ćelije epidermisa (Slika 132 A, B). Na površini širih ćelija epidermisa sporadično su prisutna silikatna tela okruglog oblika (Slika 132 B). Takođe je na površini lista bio detektovan veliki broj veoma sitnih čestica koje su bile raspoređene u udubljenima između ćelija. Dijametar čestica nepravilnog oblika se kretao od 7.81 – 10.3 μm (Slika 132 B). SEM (EDS) analizom deponovanih čestica na površini lista bili su konstatovani sledeći hemijski elementi: C, O, Mg, Al, Si, K, Ca, Ti i Fe, pri čemu su koncentracije C bile najveće, a Ti najmanje (Slika 133 A).

Na **K3**, površinska struktura lista *F. rubra* nije bila oštećena, iako je bio detektovan veći broj čestica na njegovoj površini u odnosu na K_{Bb} (Slika 132 C, D). Čestice deponovane na površini lista na K3 su bile sfernog ili nepravilnog oblika i odgovarale su cenosferama i plerosferama čestica pepela. Dijametar krupnih čestica se kretao od 18.0 – 68.0 μm (Slika 132 D). Spektralna analiza hemijskog sastava čestica je pokazala prisustvo istih hemijskih elemenata kao na K_{Bb}, izuzev Mg i Si, s tim da su koncentracije Fe bile najveće, a Al najmanje (Slika 133 B).

Takođe, ni na **K2** kod listova *F. rubra* nisu bila utvrđena oštećenja kutikule i epidermisa (Slika 132 E, F). Na površini lista bio je prisutan mali broj čestica sfernog ili nepravilnog oblika, a dijametar najkrupnijih čestica se kretao od 4.84 – 21.1 μm (Slika 132 F). SEM (EDS) analizom deponovanih čestica na površini listova *F. rubra* na K2 bili su zabeleženi sledeći hemijski elementi: O, Mg, Al, Si, K, Ca, Ti i Fe, pri čemu su koncentracije Si i Al bile najveće, a Ti najmanje (Slika 133 C).

D. glomerata

Površina lista *D. glomerata* na **kontrolnom staništu** je neravna, a epidermis izgrađuju dugačke, veoma uske i zadebljale ćelije, koje mogu biti udubljene ili ispupčene (Slika 134 A, B). Površina lista ove vrste je jednim delom prekrivena sitnim kristalima (Slika 134 B). Kao i kod *C. epigejos*, uočavaju se trihome u vidu bodlje

(Slika 134 A, B). Na površini lista bio je prisutan veoma mali broj čestica nepravilnog oblika, a veličina najveće nadjene čestice je bila 41.9 μm (Slika 134 B). Spektralna analiza hemijskog sastava deponovanih čestica je pokazala prisustvo sledećih hemijskih elemenata: C, O, Mg, Si, Cl, K i Ca (Slika 135 A). Koncentracije C i O su bile najveće, a Mg najmanje (Slika 135 A).

Na **K3**, kod *D. glomerata* nisu bila uočena oštećenja površinske strukture lista. Međutim, bile su uočene brojne pojedinačne čestice sfernog oblika ili one grupisane u agregate, obrazujući cenosfere i plerosfere, karakteristične za čestice pepela (Slika 134 C, D). Veličina deponovanih čestica se kretala od 14.4 – 84.7 μm (Slika 134 D). SEM (EDS) analizom čestica na površini lista bili su detektovani dodatno Al, Fe i Ti, za koje utvrđeno da su u sastavu pepela, pri čemu su koncentracije O bile najveće, a Ti najmanje (Slika 135 B).

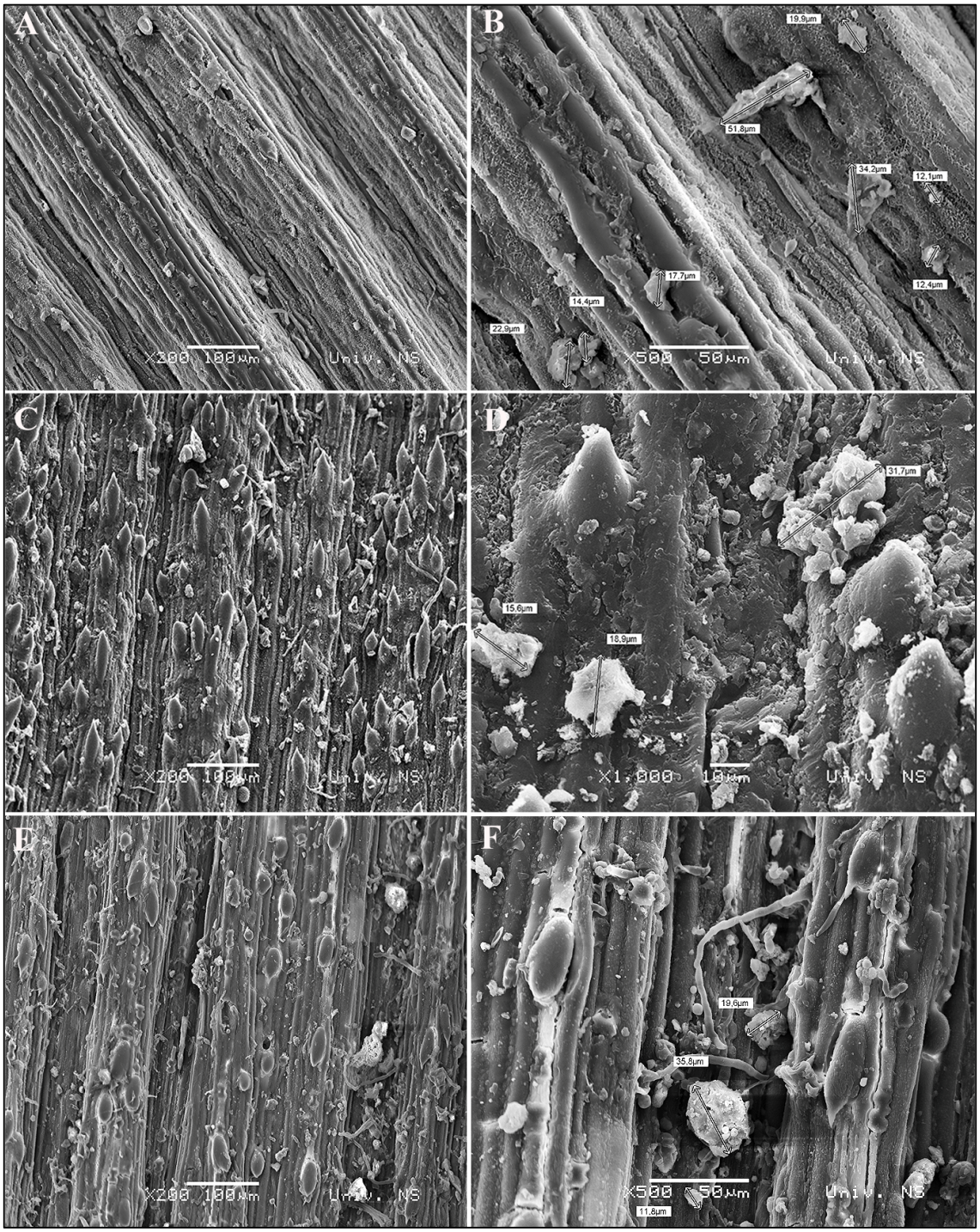
O. biennis

Površina lista *O. biennis* na **kontrolnom staništu** je glatka. Epidermis čine blago ispupčene i jasno odvojene ćelije (Slika 136 A, B). Uočavaju se dugačke, kao kratke i široke trihome (Slika 136 A, B). Na površini listova ove biljke na K_{Bk} nije konstatovan veliki broj čestica, a one koje su bile prisutne uglavnom su bile sitne, dok se dijametar većih čestica kretao od 27.1 – 30.1 μm (Slika 136 B). Spektralna analiza hemijskog sastava deponovanih čestica je pokazala prisustvo sledećih hemijskih elemenata: C, O, Mg, Al, Si, K, Ca, Ti i Fe (Slika 137 A). Koncentracije O su bile najveće, a Ti najmanje (Slika 137 A).

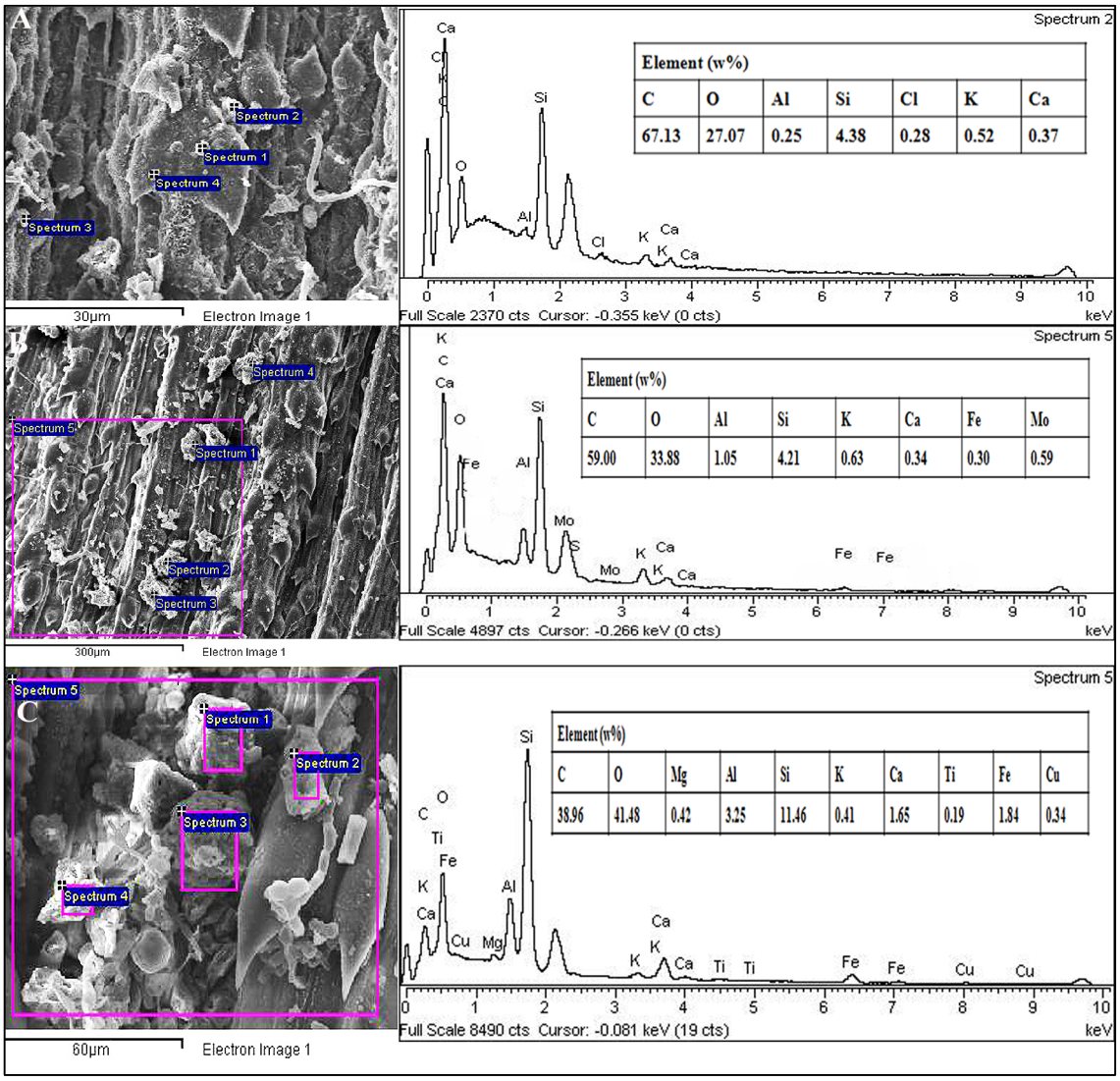
Na **K3**, na listovima *O. biennis* su se uočavala oštećenja kutikule i epidermisa u vidu lezija, kao i gubitka jasne granice između ćelija epidermisa (Slika 136 B). Površina lista je postala neravna, i na njoj su se deponovale mnogobrojne solitarne sferne čestice i njihovi agregati (Slika 136 C, D). Veličina krupnih čestica se kretala od 21.6 – 62.0 μm (Slika 136 D). SEM (EDS) analizom bili su utvrđeni sledeći hemijski elementi: O, Mg, Al, Si, Cl, K, Ca, Ti i Fe, pri čemu su koncentracije O i Si bile najveće, a Cl najmanje (Slika 137 B).

Na **K2**, oštećenja površinske strukture lista *O. biennis* su bila ista kao i na K3 (Slika 136 E, F). Veličina krupnih čestica pepela se kretala od 29.7 – 104 μm (Slika 136 F). U

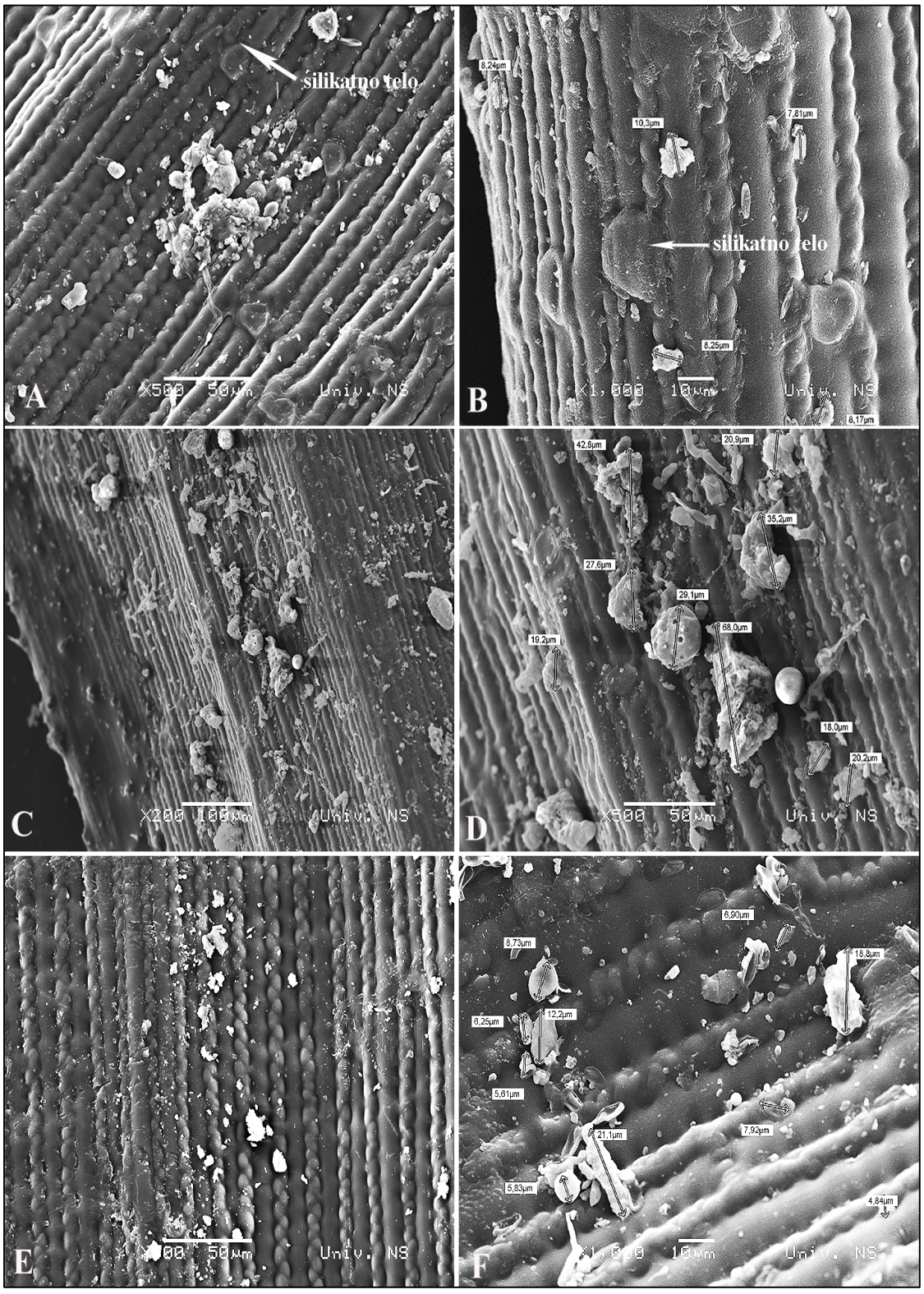
hemijski sastav čestica pepela ulazili su isti hemijski elementi, kao i na K3, izuzev Cl, pri čemu su koncentracije O i Si bile najveće, a Ti najmanje (Slika 137 C).



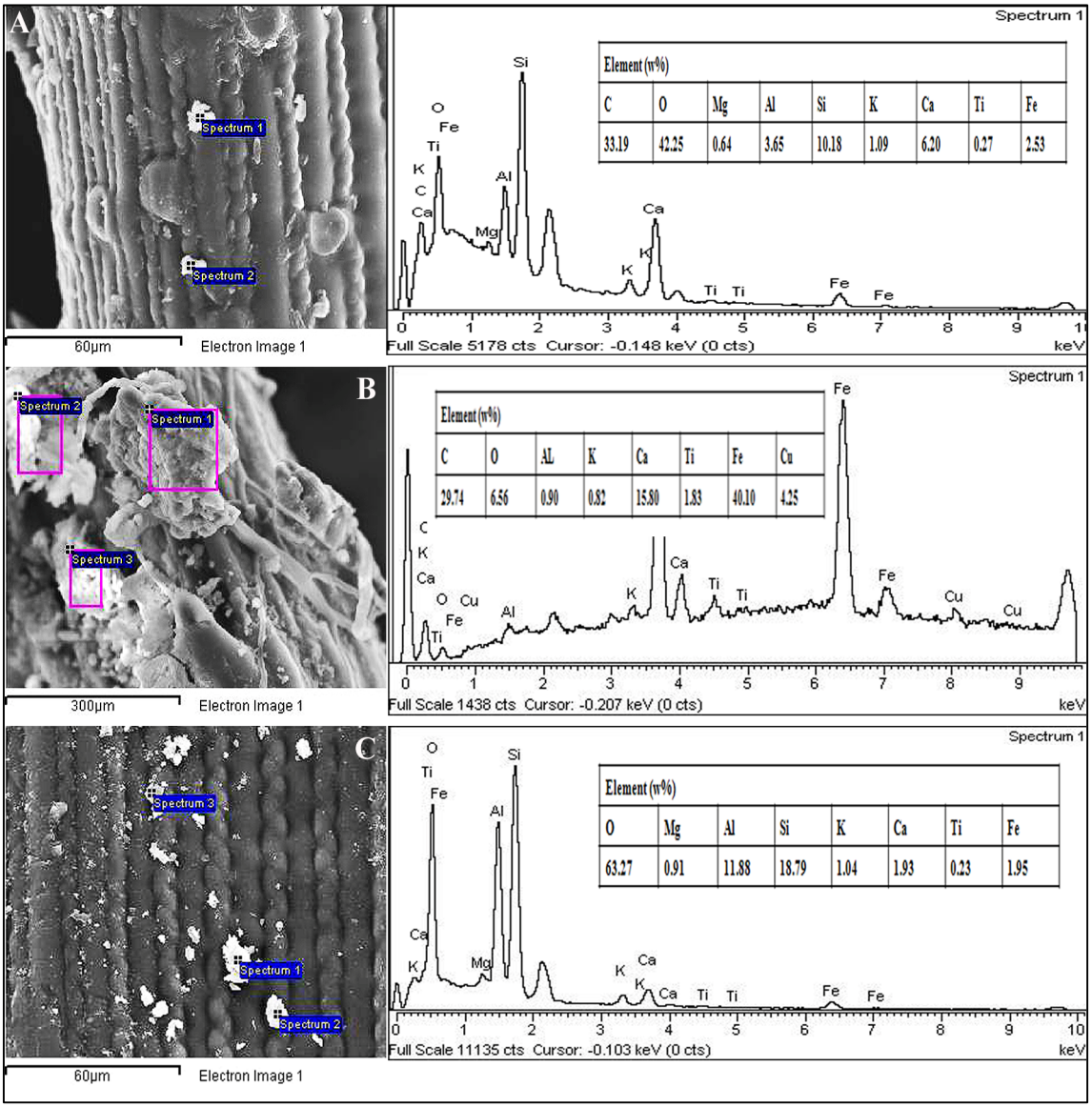
Slika 130. SEM mikrografija gornje površine lista *C. epigejos* na K_{Ko} (x200) (A), K3 (x200) (C) i K2 (x200) (E); dijametar deponovanih čestica na gornjoj površini lista *C. epigejos* na K_{Ko} (x500) (B), K3 (x1000) (D) i K2 (x500) (F).



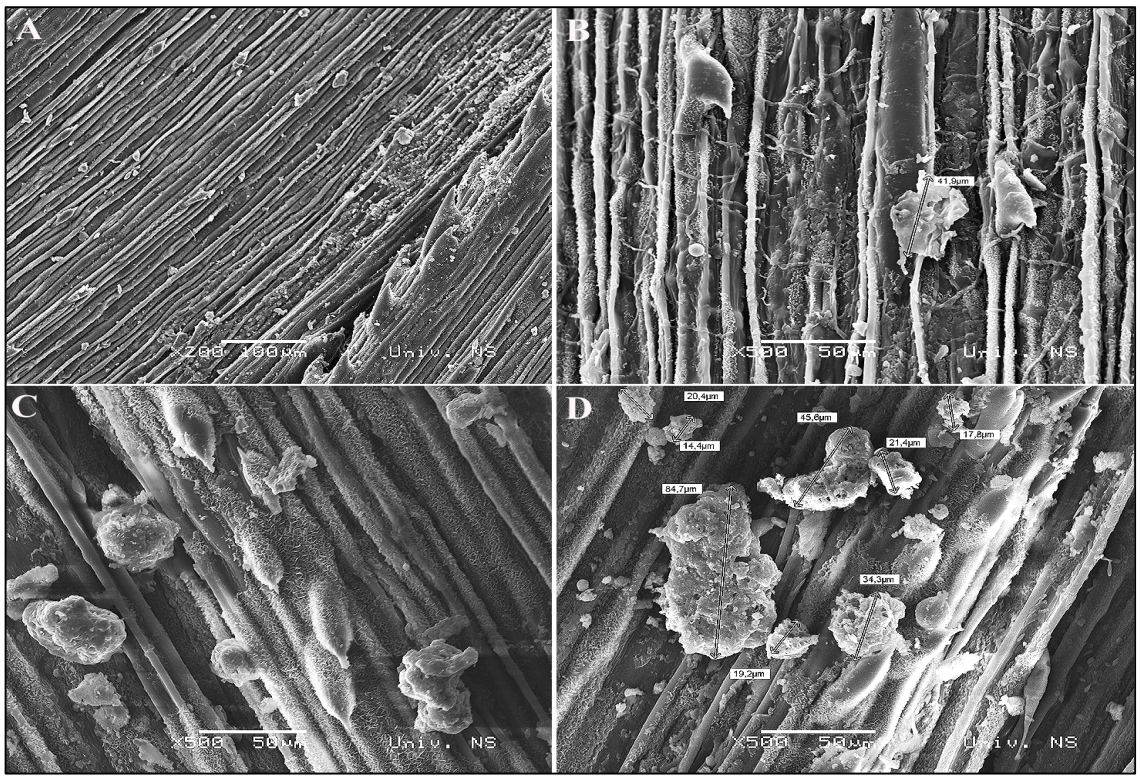
Slika 131. SEM (EDS) spektralna analiza hemijskog sastava čestica deponovanih na gornjoj površini listova *C. epigejos,* kao i koncentracije hemijskih elemenata čestica na K_{Ko} (A), K3 (B) i K2 (C).



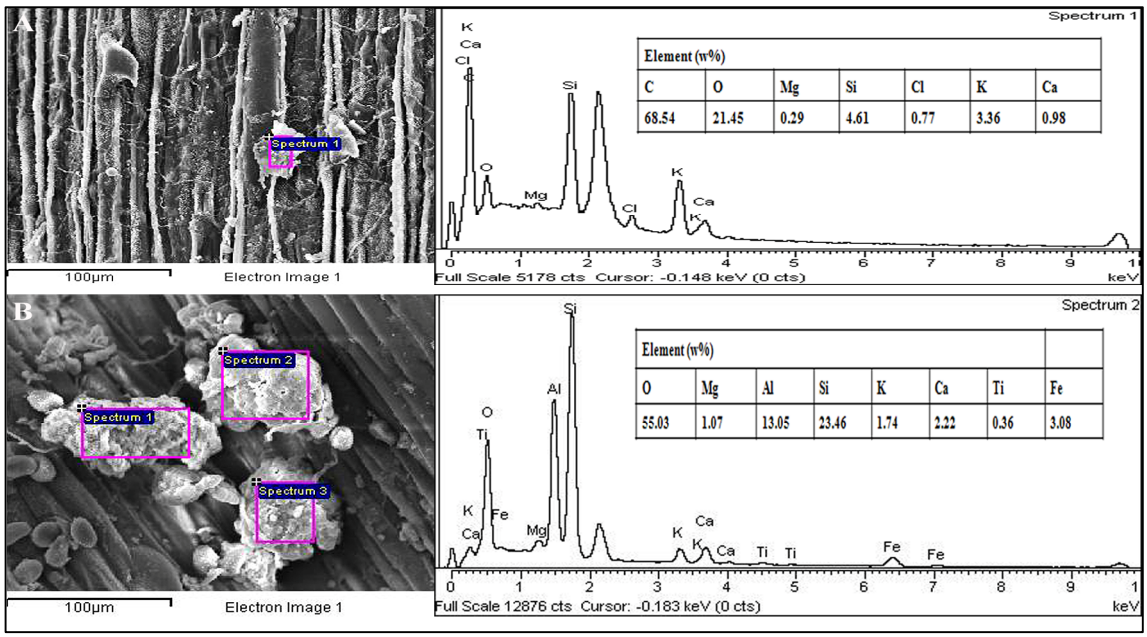
Slika 132. SEM mikrografija gornje površine lista *F. rubra* na K_{Bb} (x500) (A), K3 (x200) (C) i K2 (x200) (E); dijametar deponovanih čestica na gornjoj površini lista *F. rubra* na K_{Bb} (x1000) (B), K3 (x500) (D) i K2 (x1000) (F).



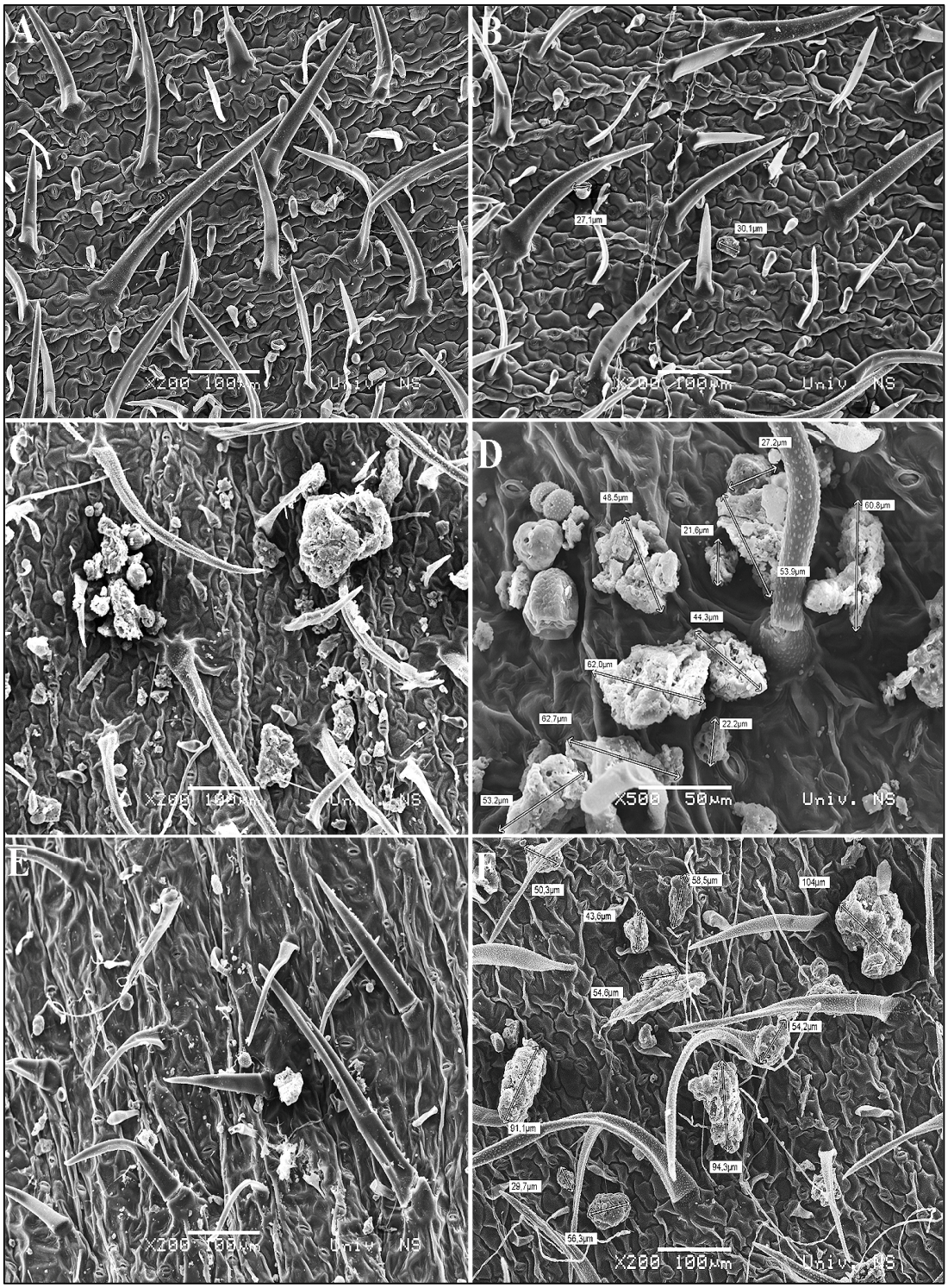
Slika 133. SEM (EDS) spektralna analiza hemijskog sastava čestica deponovanih na gornjoj površini listova *F. rubra,* kao i koncentracije hemijskih elemenata čestica na K_{Bb} (A), K3 (B) i K2 (C).



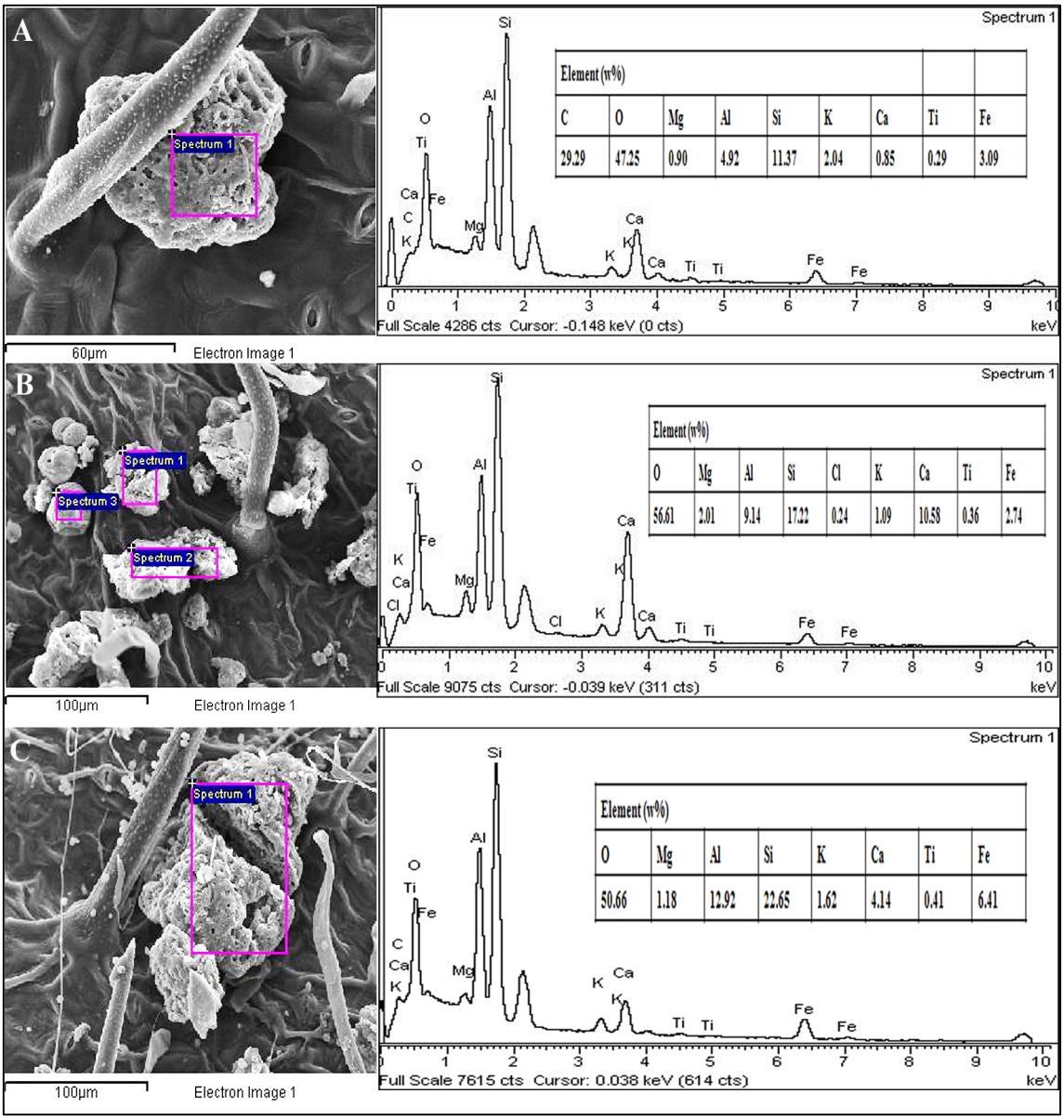
Slika 134. SEM mikrografija gornje površine lista *D. glomerata* na K_{Ko} (x200) (A) i K3 (x500) (C); dijametar deponovanih čestica na gornjoj površini lista *D. glomerata* na K_{Ko} (x500) (B) i K3 (x500) (D).



Slika 135. SEM (EDS) spektralna analiza hemijskog sastava čestica deponovanih na gornjoj površini listova *D. glomerata,* kao i koncentracije hemijskih elemenata čestica na K_{Ko} (A) i K3 (B).



Slika 136. SEM mikrografija gornje površine lista *O. biennis* na K_{Bk} (x200) (A), K3 (x200) (C) i K2 (x200) (E); dijametar deponovanih čestica na gornjoj površini lista *O. biennis* na K_{Ko} (x200) (B), K3 (x500) (D) i K2 (x200) (F).



Slika 137. SEM (EDS) spektralna analiza hemijskog sastava čestica deponovanih na gornjoj površini listova *O. biennis,* kao i koncentracije hemijskih elemenata čestica na K_{Bk} (A), K3 (B) i K2 (C).

6. DISKUSIJA

6.1. Fitocenološka istraživanja deponije pepela TENT-A u Obrenovcu

Na deponiji pepela TENT-A u Obrenovcu bile su istraživane promene u sukcesiji vegetacije na pepelu pasivne kasete K3 (stare tri godine) i K2 (stare 11 godina). Proučavane su promene u florističkom sastavu, brojnost, pokrovnost i stepen prisutnosti biljaka na nasipima i ravnom delu kaseta različite starosti (K3 i K2), kako bi se uočile promene u sukcesivnom naseljavanju i iščezavanju biljnih vrsta.

Na nasipima i u ravnom delu kaseta (K3 i K2) zabeleženo je ukupno 122 biljne vrste. Posle tri godine od početka biorekultivacionog procesa na pepelu ravnog dela K3 zabeleženo je 56 biljnih vrsta, a unutar K2, posle jedanaest godina, bilo je 88 biljnih vrsta, što ukazuje na povećanje broja kolonizatora. Opštoj raznovrsnosti u zajednici naročito doprinosi 26 biljnih vrsta koje su se nalazile unutar K2, a nisu bile zabeležene na nasipima, niti na K3. Iako se te vrste ne javljaju sa velikom brojnošću i pokrovnošću, njihovo prisustvo pokazuje da deponija pepela predstavlja prostor otvoren za nova naseljavanja. Prema Mitrović et al. (2008) na deponiji pepela TENT-A u Obrenovcu staroj 5 godina zabeleženo je 36 biljnih vrsta, od kojih je 29 vrsta kolonizovalo prostor iz okolne sredine. Isti autori navode da je posle 13 godina na deponiji pepela TENT-A zabeleženo ukupno 26 vrste, a da su 22 biljne vrste spontano kolonizovale prostor. Djordjević-Miloradović (1998) je prateći spontanu rekolonizaciju i sukcesivni razvoj vegetacije pepela termoelektane „Kostolac“ uočila da postoji trend opšteg povećanja biljne raznovrsnosti uz iščezavanje nekih vrsta. Tako se broj vrsta kolonizatora povećavao od 26 u prvoj godini posmatranja (inicijalna faza kolonizacije) do 42 vrste u trećoj godini (rana faza sukcesije). Takođe je bilo ustanovljeno da u sedmoj godini sukcesije (srednja faza sukcesije) dolazi do opšteg povećanja pokrovnosti zeljastih biljaka i drveća.

Prema Tischew (1995) sukcesija vegetacije zavisi od različitih uslova u raznim delovima deponija, kao i od snage disperzije i invazije vrsta. U ranim fazama sukcesije praznih mesta u prirodi, populacije prvih kolonizatora dolaze iz slučajno dospelih semena (iz semenske „kiše“, ako u zemljištu odsustvuje rezerva semena u primarnoj sukcesiji) ili iz semenske banke (ako zemljište poseduje rezervnu banku semena u sekundarnoj sukcesiji). U inicijalnoj fazi kolonizacije dominantnu grupu čine

jednogodišnje zeljaste biljke sa kratkim životnim ciklusom, brzim rastom tokom sezone, velikom produkcijom semena i sposobnošću da se šire prostorom i tokom vremena, i sa njima započinje proces regeneracije ili obnavljanja vegetacije na pepelu. U takve vrste se ubrajaju: *Erigeron canadensis*, *Chenopodium album* i *Chenopodium botrys.* Iste vrste bile su konstatovane na kasetama različite starosti (K3 i K2) deponije pepela TENT-A i to sa većom brojnošću, pokrovnošću i stepenom prisutnosti na K3 u odnosu na K2. Pored ovih biljaka javljaju se i **višegodišnje, zeljaste, monokarpne biljke**, koje imaju veliku količinu semena, životni ciklus od nekoliko godina, a cvetaju i plodonose samo jednom, posle čega izumiru i prisutne su u sukcesiji vegetacije na pepelu od samog početka. Takve vrste su: *Oenothera biennis, Daucus carota* i *Verbascum phlomoides,* koje se i javljaju na K3 i K2, ali sa većom brojnošću, pokrovnošću i stepenom prisutnosti na K2 nego na K3. Gross (1981) navodi da preživljavanje ovih vrsta zavisi od kritične veličine rozete i količine nakupljenih asimilata u korenu. Biljke koje takođe osvajaju površinu pepela su **višegodišnje, polikarpne, zeljaste vrste,** koje se razmnožavaju iz semena, ali i iz vegetativnih organa (rizomi, stolone, lukovice, krtole). Rizomi služe za akumulaciju rezervnih supstanci i preživljavanje tokom nepovoljnog perioda godine, a služe i kao veza između nadzemnih izdanaka. Takve vrste su: *Calamagrostis epigejos, Festuca rubra, Tussilago farfara, Epilobium* sp. Na K3 i K2 bile su brojne iste vrste, s tim što je *Calamagrostis epigejos* pokazala veliku tendenciju širenja i osvajanja K2.

U **unutrašnjosti K3** na TENT-A, nakon tri godine od početka rekultivacionog procesa, **dominirale** su vrste koje su se nalazile u travno-leguminoznoj smeši i to su: *Festuca rubra, Dactylis glomerata, Medicago sativa, Lotus corniculatus* i *Vicia villosa*, koje su pokrivale površinu pepela od 2-100% i bile su prisutne u 80-100% snimaka. Osim ovih biljaka, mahovina *Polytrichum* sp. i vrsta *Erigeron canadensis* su pokrivale od 2-100% površine K3, i bile su prisutne u 40-80% snimaka. Do treće godine, pojavljivale su se biljne vrste čija je brojnost, pokrovnost i stepen prisutnosti bila manja u odnosu na gore pomenute biljke, a što ukazuje na postepenu spontanu kolonizaciju deponije pepela biljkama iz neposrednog okruženja. Tako se javljaju sledeće biljne vrste: *Sinapis arvensis*, *Oenothera biennis*, *Salsola kali*, *Chenopodium botrys*, *Silene vulgaris, Chenopodium album, Epilobium collinum*, *Melandrium album*, *Sorghum halepense*, *Calamagrostis epigejos*, *Trifolium repens*, *Rumex acetosella*, *Sonchus*

arvensis, Festuca pratensis, *Ambrosia artemisifolia*, *Crepis setosa*, *Echium vulgare*, *Daucus carota, Cirsium arvense, Verbascum phlomoides* i dr. Međutim, posle 11 godina, **unutar K2** na TENT-A, **dominirale s**u sasvim druge zeljaste vrste, kao što su: *Calamagrstis epigejos, Oenothera biennis, Cirsium arvense, Festuca rubra, Crepis setosa* i *Erigeron canadensis*. Slično, prema rezultatima Djurdjević et al. (2006) na deponiji pepela TENT-A nakon 7 godina najbrojnije su bile sledeće vrste: *Festuca rubra, Crepis setosa, Calamagrostis epigejos, Erigeron canadensis, Cirsium arvense, Xanthium italicum, Tamarix gallica, Verbascum phlomoides* i *Eupatorium canabinum*.

Na K3 i K2, najbrojnija familija je bila *Asteraceae*, zatim *Fabaceae* i *Poaceae*. Vrste familija *Fabaceae* i *Poaceae* zauzimaju veću površinu pepela na K3 nego na K2, dok su vrste familije *Asteraceae* brojnije i sa većim stepenom prisuntnosti na K2 u odnosu na K3. Takođe, familiji *Asteraceae* pripadaju jednogodišnje zeljaste, kao i višegodišnje, rizomatozne vrste, koje imaju semena sa papusom koja se poput padobrana raznose daleko od roditeljske jedinke, što doprinosi njihovoj spontanoj kolonizaciji deponije pepela. Vrste koje se nalaze u travno-leguminoznoj smeši, a pripadaju familijama *Fabaceae* i *Poaceae,* kao i prvi kolonizatori u ranoj sukcesivnoj fazi (do 3 godine) utiču na promenu fizičko-hemijskih uslova na pepelu, doprinose stabilizaciji pepela, sprečavaju eroziju vetrom i zadržavaju nutritivne materije koje će kasnije koristiti drugi kolonizatori (Cleve et al., 1991; Djordjević-Miloradović, 1998; Pavlović et al., 2004; 2007; Đurđević et al., 2006; Mitrović et al., 2008; Pavlović and Mitrović, 2013).

6.1.1. Fitocenološka karakteristike ispitivanih biljaka na deponiji pepela

Vrsta ***C. epigejos*** dominira na K2, posle 11 godina od početka biorekultivacionog procesa. Slično, Mitrović et al. (2008) su na deponiji pepela TENT-A u Obrenovcu zabeležili da na kaseti koja je stara 13 godina dominira takođe *C. epigejos*. Djordjević-Miloradović (1998) je ustanovila da se ova vrsta u kasnoj fazi sukcesije (posle 8 godina) odlikuje velikom invazionom sposobnošću i da ona kao takva određuje dalji tok sukcesivnih promena. Invazivne biljke osvajaju prostor i resurse i poseduju kompetativne karakteristike u odnosu na ostale vrste, kao što su rizomi koji se snažno razvijaju i šire, a sprečavaju rast i širenje drugih vrsta (Lubchenco, 1978; Van Hulst, 1987). Vrsta *C. epigejos* u dužem vremenskom periodu na deponiji pepela stvara

monodominantne zajednice, koje se odlikuju velikom količinom produkovane biomase, ali niskim diverzitetom.

Kod vrste *C. epigejos* klijanci se pojavljuju na pepelu u aprilu i maju, veoma brzo se razvijaju i već u juvenilnom stanju obrazuju izdanke na rizomima. Jedinke, starosti od 1-3 godine, obrazuju veći broj vezanih rizoma, što dovodi do grupisanja izdanaka i povećanja njihove gustine po jedinici površine. Sezona rastenja nadzemnih i podzemnih izdanaka traje od aprila do septembra. Posle cvetanja koje traje oko 10 dana u julu i plodonošenja koje traje do kraja leta i jeseni, svi nadzemni delovi se suše i izumiru. Tada dolazi do prekida veze između multirizomskog sistema, a stvorena fragmentacija omogućava dalji rast novih rizoma. Vrsta *C. epigejos* na TENT-A je prisutna na nasipima K2 i K3, odakle postepeno dolazi i osvaja unutrašnji prostor na K3, što se slaže sa nalazima Tripathi and Harper (1973) prema kojima višegodišnje, zeljaste polikarpne perene prodiru i rastu prvo po obodu biološki praznog prostora, a zatim se šire u centralnim delovima, gde se razmnožavaju i rasprostiru semenima i rizomima.

Vrsta ***O. biennis***, dominira prostorom na K2 zajedno sa *C. epigejos*. Međutim, na K3 se odlikuje većim stepenom pokrovnosti i prisutnosti u odnosu na prethodnu vrstu. Prema Gross and Werner (1982) ova vrsta se odlikuje velikom količinom semena, koja po jednoj individui može da iznosi i do 6000, a ta semena mogu ostati dormantna i do 80 godina. Ovako velikim brojem semena koja ostaju latentna, može se objasniti dugovremeno prisustvo *O. biennis* na pepelu, od rane faze spontane kolonizacije do kasne faze kolonizacije.

Vrste ***D. glomerata*** i ***F. rubra*** se odlikuju velikom brojnošću i pokrovnošću u ravnom delu i nasipu K3, ali se njihova brojnost i stepen prisutnosti značajno smanjuju na K2, posle 11 godina. Rezultati pokazuju da se vrsta *F. rubra* i dalje održava u zajednici na K2, ali da je njena težnja za širenjem neznatna, dok je *D. glomerata* vrsta u iščezavanju. Koegzistencija ili kompetativno isključenje vrsta iz zajednice su veoma važni za objašnjenje faza u sukcesiji na pepelu. Prema Mack and Harper (1977) kompetativne interakcije definišu uticaj jedne vrste na drugu, pri čemu dolazi do smanjenja vitalnosti, povećanog mortaliteta, smanjenja produkcije biomase ili fekunditeta jedne od njih.

Populacije vrsta ***D. glomerata*** sa vremenom postaju gušće i prema Washko et al. (1967) dolazi do kompeticije između ove vrste i drugih biljaka. Pri velikoj gustini u populaciji dolazi do povećanog mortaliteta u ranim razvojnim fazama zbog kompeticije za raspoložive resurse. Stopa mortaliteta utiče na veličinu populacije. Kako ova vrsta ne formira postojanu banku semena, verovatnoća njenog opstanka u daljem toku sukcesije je smanjena.

Iako se vrsta ***F. rubra*** razvija iz semena, najčešće se širi rizomima. Prema Rozama et al. (1978) klijanci *F. rubra* na zemljištu bazne reakcije imaju visoku verovatnoću preživljavanja i mali mortalitet u ranim uzrasnim fazama rasta. Međutim, kako izdanak raste dolazi do prekida veze između vegetativnog izdanka od roditeljske biljke, ćime se povećava rizik umiranja, jer nedostaje priliv nutrijenata iz roditeljske biljke. Uprkos ovakvom variranju ova vrsta posle 11 godina uspeva da opstane u zajednici biljaka na K2 (TENT-A u Obrenovcu), što je u skladu sa našim ranijim nalazima (Pavlović et al., 2004; Mitrović et al., 2008; Pavlović and Mitrović, 2013; Gajić et al., 2013).

6.2. Fizičko-hemijske karakteristike pepela i zemljišta

6.2.1. Fizičke karakteristike pepela i zemljišta

Rezultati su pokazali da na aktivnoj kaseti (**K1) dominira frakcija ukupnog peska**, dok je frakcija gline i glina + prah mala. Naime, na K1 preovlađuje frakcija finog peska. Na deponiji pepela u Medoševcu, koja se nalazi u okviru DP „Kolubara - Prerada“ Vreoci dobijen je sličan procenat peska (Obradović et al., 2010) u odnosu na naše rezultate. Na **K3,** frakcija ukupnog peska je i dalje visoka, ali se postepeno tokom tri godine smanjuje, dok se frakcija glina + prah malo povećava. Na **K2**, frakcija ukupnog peska je mnogo manja nakon 11 godina, dok je frakcija gline i glina+prah povećana. Uočava se da tokom vremena dolazi do promene **peskovitog** mehaničkog sastava pepela na K1 i K3 do teksturnog tipa koji se klasifikuje kao **peskovita ilovača** na K2. Peskovit teksturni sastav čini da pepeo ima veliku propustljivost za vodu, zbog čega je i procenat higroskopne vlage nizak. Takođe, kod ovakvog teksturnog tipa čestice su fizički odvojene i nepovezane. Međutim, kod peskovite ilovače se povećava frakcija praha + gline, čime se obezbeđuje povoljna kapilarnost, ali je procenat koliodnih čestica još uvek nedovoljna da bi se obezbedila dobra agregiranost. Kapilarna voda se nalazi u

mikroporama supstrata i dostupna je korenovima biljaka. Sposobnost sjedinjavanja čestica u strukturne agregate zavisi od mineralnih i organskih koloida, i uslovljena je sadržajem koloidne gline i drugih mineralnih čestica, količine humusa i jona Ca, Al i Fe (Ćirić, 1962). Joni ovih hemijskih elemenata slepljuju mineralne (glinene) ili organske (humusne) koloidne čestice koje formiraju koloidnu opnu oko zrnca peska ili praha. Na površini takvih čestica se nalaze slobodni H^+ i OH^- joni sposobni za vezivanje vode ili za razmenu sa drugim jonima.

Smanjen procenat ukupnog peska, a povećan procenat glina+prah na K2, može da ukaže da biljke posle 11 godina svojom aktivnošću i produkcijom organske mase obogaćuju supstrat organskim supstancama stvarajući organo-mineralne koloidne komplekse, čime se formiraju povoljni fizičko-hemijski uslovi za dalji rast biljaka na pepelu. Takođe su Dželetović and Filipović (1995) utvrdili da na deponiji pepela TENT-A gde je procenat peska manji (79.7%), a udeo gline veći (3.4%) biljke bolje uspevaju, nego na mestima gde je procenat peska veći (93.2-95.9%), a procenat gline manji (1.9-2.1%).

Na kontrolnom staništu $\mathbf{K_{Ko}}$, zemljište pripada praškasto-glinovitoj ilovači, ima veći procenat gline i frakciju glina + prah u odnosu ukupan pesak, te su u uslovi za rast biljaka povoljniji u odnosu na pepelište. Naime, glina sadrži najviše koloidnih čestica, učestvuje u adsorpciji i apsorpciji jona, kao i agregaciji zemljišnih koloida, te predstavlja najaktivniju frakciju zemljišta, koja obezbeđuje veoma dobre uslove za rast biljaka. Zemljište na $\mathbf{K_{Bb}}$ je ilovača, a na $\mathbf{K_{Bk}}$ peskovita ilovača i kod njih su frakcije ukupnog peska i glina + prah bile približno podjednake, što znači da su takva zemljišta dobro aerisana, ali manje zadržavaju vodu u odnosu na glinovita zemljišta. Ovakva zemljišta su i dalje pogodna za optimalni rast biljaka, ali manje povoljna u odnosu zemljište na K_{Ko}.

6.2.2. Hemijske karakteristike pepela i zemljišta

Rezultati su pokazali da je **električna provodljivost (EC, $\mathbf{dSm^{-1}}$)** bila najveća na deponiji **K1** ukazujući da se količina rastvorljivih soli nalazila najviše u pepelu aktivne kasete (0.352 dSm^{-1}). Na odlagalištima pepela termoelektrana u Indiji bile su utvrđene slične vrednosti EC pepela od 0.321 dSm^{-1} (Pandey, 2012) i od 0.354 dSm^{-1} (Gupta and Sinha, 2008). Prema Bilski et al. (1993) EC pepela na aktivnim kasetama deponije

pepela je generalno visoka, ukazujući na prisustvo visokih koncentracija Ca, Mg, Na i B rastvorljivih soli (Plank et al. 1975).

Prema Haynes (2009) salinitet predstavlja jedan od glavnih faktora koji limitira rast biljaka na pepelu. Tako, Maas (1990) ukazuje da se problem saliniteta kod biljaka ne javlja sve dok vrednosti EC nisu oko 1.5 dSm^{-1} (za biljke osetljive na soli), 3.5 dSm^{-1} (za biljke umereno osetljive na soli) ili 6.5 dSm^{-1} (za biljke tolerantne na soli). Kako su vrednosti EC na K3 iznosile 0.203 dSm^{-1}, a na K2 0.184 dSm^{-1} može se pretpostaviti da salinitet na ovim deponijama pepepela ne bi trebalo da ima negativan efekat na biljne vrste. Ayers and Westcot (1985) navode da EC_W irigacionih voda < 0.7 dSm^{-1} ne bi trebalo da predstavlja problem za biljke, dok vrednosti EC_W > 3 dSm^{-1} mogu imati negativan efekat na rast biljaka. S obzirom na to da su biljke na deponiji pepela TENT-A povremeno prskane vodom iz reke Save (EC≈0.43 dSm^{-1}) ili drenažnom vodom (EC od 0.72 - 0.82 dSm^{-1}) (Mitrović et al., 2008) može se zaključiti da količina rastvorljivih soli u ovim vodama ne predstavlja limitirajući faktor za rast biljaka na pasivnim kasetama. Niže vrednosti EC na K2 u odnosu na K3, mogu da ukažu da se tokom vremena količina rastvorenih soli postepeno smanjivala, odnosno da je došlo do njihovog spiranja (Adriano et al., 1980; Kukier and Sumner, 1996). Townsend and Hodgson (1973) smatraju da je potrebno 2 do 3 godine spiranja da bi se koncentracije rastvorljivih soli smanjile na vrednosti EC koje nisu štetne za biljke, što su i naši rezultati potvrdili.

Aktivna kiselost (pH u H_2O) je bila najveća na aktivnoj kaseti K1 (8.03), što ukazuje na baznu reakciju pepela. Na pasivnim kasetama (7.78 – 7.72) i svim kontrolnim staništima (7.54 – 7.83), vrednosti pH u H_2O su pokazivale slabo bazni karakter pepela, odnosno zemljišta. Dželetović and Filipović (1995) su izmerili slične vrednosti pH (H_2O) na deponiji pepela TENT-A u Obrenovcu (7.7 - 7.9), dok su Obradović et al. (2010) na deponiji pepela i šljake u Medoševcu (DP „Kolubara - Prerada“ Vreoci) u različitim uzorcima izmerili veće vrednosti pH (8.85-10.38) u odnosu na naše. Takođe su i na odlagalištima pepela termoelektrana u Indiji (Uttar Pradesh) bile utvrđene slične našim pH (H_2O) vrednosti koje su se kretale od 7.7 (Pandey, 2012) do 8.12 (Gupta and Sinha, 2008). Generalno, pH vrednosti letećeg pepela variraju od 4.5-12.0, što zavisi od sastava uglja koji se koristi za sagorevanje (Carlson and Andriano, 1993). Tako, bituminozni ugalj i lignit imaju manje S, a više

Ca, što stvara baznu reakciju pepela (Page et al., 1979), što su i rezultati u ovoj studiji potvrdili. Dobijene **vrednosti pH u KCl** na K1, K3 i K2 deponija pepela TENT-A u Obrenovcu, kao i u zemljištu kontrolnih staništa su bile manje u odnosu na aktivnu kiselost (pH u H_2O). Vrednosti pH (KCl) na K1 i K3 ukazuju na neutralnu reakciju pepela, dok na K2 ta vrednost pokazuje slabo kiselu reakciju. Dobijene vrednosti aktivne (pH u H_2O) i supstitucione kiselosti (pH u KCl) pepela na K1 preko K3 do K2 deponije pepela TENT-A u Obrenovcu **imaju tendenciju smanjivanja**, što može biti posledica uticaja biljaka koje svojom aktivnošću smanjuju bazni karakter pepela.

Rezultati istaživanja su pokazali da na aktivnoj kaseti (K1) odsustvuju kiseli katjoni, da su prisutni samo bazni katjoni, zbog čega je i procenat baznih katjona u adsorptivnom kompleksu 100%. Ukupna količina kiselih i baznih katjona, kao i totalni kapacitet adsorpcije imaju tendenciju povećanja od K1, preko K3 do K2, pri čemu je procenat baznih katjona manji usled povećanja količine kiselih katjona u kompleksu. Prema Antić et al. (1982) totalni kapacitet adsorpcije zavisi od ukupne količine i sastava koloida i od reakcije zemljišta, što znači da je veći ukoliko ima više koloida i ako je reakcija neutralna do slabo bazna. Tako su dobijeni rezultati na deponiji pepela TENT-A i pokazali da se procenat gline (koloidnih čestica) povećavao od K1 preko K3 do K2, kao i da se vrednost pH pepela kretala od bazne do slabo bazne reakcije.

Promena karakteristika **adsorptivnog kompleksa** koloida u pravcu povećanja ukupne količine kiselih i baznih katjona, kao i totalnog kapaciteta adsorpcije na K2 je u velikoj meri uslovljena aktivnošću biljaka. Naime, peskovita zemljišta se mogu obogatiti neophodnim hemijskim elementima jedino aktivnošću živih organizama (korenovi biljaka i mikroorganizmi) (Antić et al., 1982). Živi organizmi usvajaju mineralne elemente iz zemljišta i ugrađuju ih svoja tkiva, a nakon izumiranja organizama i mineralizacije njihovih delova, oslobađaju se i koncentrišu u zemljištu hemijski elementi koji se mogu vezati u jedinjenja dostupna biljkama. Razlaganjem organskih ostataka u zemljištu pod uticajem mikroorganizama nastaju sitne organo-mineralne koloidne čestice, označene kao humus. Djurdjević et al. (2006) su utvrdili prisustvo fenolnih jedinjenja (važne komponente humusa), na pasivnoj kaseti deponije pepela TENT-A u Obrenovcu, nakon sedam godina od početka biorekultivacije i spontane rekolonizacije pepela, što ukazuje na inicijalni proces humifikacije na pepelu. Količina ukupnih fenola i fenolnih kiselina (ferulinska, vanilinska i *p*-kumarinska

kiselina) se povećavala od centra kasete do njenog oboda, što je bilo korelisano sa povećanjem vegetacijskog pokrivača na deponiji pepela.

Rezultati istraživanja su pokazali da je ukupna količina kiselih katjona, ukupna količina baznih katjona i totalni kapacitet adsorpcije veći na svim kontrolnim staništima (K_{Ko}, K_{Bb} i K_{Bk}) u odnosu na K1 i K3, dok je stepen zasićenosti adsorptivnog kompleksa bazama manji, usled prisustva veće količine kiselih katjona. Prema Antić et al. (1982) glinovita i humusom bogata zemljišta, kao što su ispitivana kontrolna staništa, imaju veći kapacitet adsorpcije od peskovitih i humusom siromašnim zemljištima.

Hemijska analiza **ukupnog ugljenika (C)** na deponiji pepela TENT-A u Obrenovcu je pokazala da je količina C bila najveća na aktivnoj kaseti (K1), i da se smanjivala tokom vremena. Suprotno, analiza **ukupnog azota (N)** je pokazala da se najmanja količina N nalazila na K1, a povečavala se sa vremenom. **Odnos C/N** je na deponiji pepela TENT-A u Obrenovcuje imao isti trend smanjivanja kao ukupni C, odnosno najveći je bio na K1, a najmanji na K2. Izmerena ukupna količina C i N na svim kontrolnim staništima je bila veća u odnosu na K1, K3 i K2. Odnos C/N je bio manji na kontrolnim staništima u odnosu na sve kasete, izuzev na K2.

Na aktivnoj kaseti (K1) **ukupna količina C** u pepelu je rezultat nepotpunog sagorevanja uglja i taj C može da bude vezan za organski ili neorganski matriks uglja. Međutim, na K3 i K2 dobijeni C može biti poreklom iz uglja, ili je produkt dekompozcije i mineralizacije ostataka biljaka (Djurdjević et al., 2006). Organski C poreklom iz lignita ili derivata lignita može delimično da kompezuje nedostatak zemljišne organske supstance (Fettweis et al., 2005). Takođe, na aktivnoj kaseti, **ukupna količina N** u pepelu je jako mala (0.02%), što se slaže sa rezultatima drugih autora (<0.05%, Dželetović and Filipović, 1995 i 0.024%, Gupta et al., 2002). Mala količina N u pepelu je limitirajući faktor za rast biljaka (Haynes, 2009). Količina N je na K3 (0.09%) i K2 (0.19%) bila niska. Mineralizacija organskog N je sporija u zemljištu antropogeno narušenih staništa u odnosu na prirodna staništa, i biljke koje tamo rastu usvajaju manje N i produkuju manju biomasu (Reeder, 1985). Vimmerstedt et al. (1989) ukazuje da je potreban duži period vremena (više od 30 godina) da bi se ukupan sadržaj N povećao u površinskom sloju zemljišta narušenih staništa do nivoa N koji bi bio najbolji za snabdevanje biljaka. Prema Mummey et al. (2002) u većini prirodnih ekosistema, unos N je minimalan, dok je njegovo zadržavanje i efikasno

kruženje presudno za održavanje produktivnosti ekosistema. Uprkos maloj količini N, njegovo povećanje na K2 u odnosu na K3 je verovatno posledica akumulacije biljnog materijala u površinskom sloju pepela tokom vremena. Slično, Zhao et al. (2013) su pokazali da je ukupan N u zemljištu u okolini rudnika, gde je vegetacija 13 godina stara, veći u odnosu na stanište na kome je vegetacija uspostavljena tek jednu godinu.

Odnos C/N je bio najveći na K1 (159.50), usled jako male količine N i taj odnos se na pasivnim kasetama tokom vremena smanjivao (22.56 na K3 i 7.68 na K2), jer se količina N povećavala. Generalno, visok odnos C/N može biti rezultat nedovoljne količine N potrebne za aktivnost mikroorganizama. Visok odnos C/N stimuliše aktivnost gljiva, koje svojim raspadanjem oslobođaju važne nutrijente, kao što je fosfor u rizosferu, dok je aktivnost mikroorganizama više stimulisana pri niskom odnosu C/N (Merilä et al., 2010; Huang et al., 2012). Prema Wardle et al. (2004) organske supstance koje imaju više N snabdevaće u velikoj meri zemljište mnogim nutrijentima, dok će se generisati nizak nivo stabilnog C u zemljištu, a takvi uslovi najviše odgovaraju rastu trava. Tako je na K2 deponije pepela TENT-A u Obrenovcu bila utvrđena mala količina ukupnog C, nešto veća količina ukupnog N i dominacija vrste *C. epigejos*.

Vrednosti **dostupnih oblika K_2O** su bile najmanje na aktivnoj kaseti (K1), i povećavale su se tokom vremena, te je najveća vrednost izmerena na K2. Hemijska analiza **dostupnih oblika P_2O_5** je pokazala najmanje vrednosti na K1, a veće na K2. Vrednosti dostupnih oblika K_2O i P_2O_5 su na kontrolnim staništima varirale u odnosu na sve tri kasete. Dobijeni rezultati bi mogli da ukažu da tokom vremena na pasivnim kasetama deponije pepela TEN-A u Obrenovcu ima više kalijumovih jona koji se mogu osloboditi iz glinovito humusnih koloida u rastvor, odakle postaju lako dostupni biljkama. Količina dostupnog P_2O_5 je na K2 bila manja u odnosu na K3, što može biti rezultat antagonizma fosfata sa drugim hemijskim elementima. Tako, visoke koncentracije As mogu da smanje količinu dostupnih jona fosfata za biljku (Kabata-Pendias and Pendias, 2001).

6.2.3. SEM analiza čestica pepela

Skening elektronski mikroskop (SEM) se često koristi za identifikaciju i karakterizaciju mikrostruktura u letećem pepelu (Furuya et al., 1987; Vassilev et al., 2005). Rezultati istraživanja su pokazali da su čestice letećeg pepela na deponiji pepela TENT-A u Obrenovcu sfernog i sferoidnog oblika, da obrazuju cenosfere i plerosfere, asocirane u agregate različitih minerala. Sferne čestice pepela koje su sa mnogo pora i šupljina predstavljaju cenosfere, dok su plerosfere sastavljene od mnogo cenosfera ispunjene malim, amorfnim česticama i kristalima (Fischer et al., 1976; Jala and Goyal, 2006). U analiziranom pepelu TENT-A u Obrenovcu bile su brojne frakcije krupnih (137-366 μm), srednje krupnih i sitnih čestica pepela (48.2-85.0 μm), dok su najbrojnije bile čestice < 48.2 μm. Slični rezultati bili su dobijeni od strane Vassilev et al. (2005) za čestice letećeg pepela (<63 μm) i šljake (>200 μm) produkovane iz termoelektrane Soma u Turskoj.

SEM - EDS spektralna analiza hemijskog sastava čestica pepela K1, K3 i K2 na TENT-A u Obrenovcu je pokazala prisustvo sledećih elemenata: O, Mg, Al, Si, K, Ca, Ti i Fe, pri čemu su se koncentracije smanjivale sledećim redosledom: O > Si > Al > Ca > Fe. Rezultati su pokazali da je količina O na svim kasetama deponije pepela TENT-A u Obrenovcu bila najveća, a prema Vassilev and Vassileva (2005) glavni elementi, kao što su O, Si, Al, Ca, Fe, C, K, Mg i S, prisutni su pretežno kao oksidi. Takođe, hemijska analiza čestica pepela TENT-A u Obrenovcu je pokazala da se većina istih sastoji od amorfnih alumo-silikatnih sfera ili sfera koje su bogate Fe, i da su one sastavni deo cenosfera ili plerosfera. Prema Huggins et al. (1997) sve neorganske komponente čestica pepela su kovalentno ili jonski vezane u organometalna jedinjenja. Takođe, izmerene količine O, Si, Al, Fe i Ca pokazuju da pepeo na TENT-A u Obrenovcu pripada **klasi C tipa**, koji nastaje nepotpunim sagorevanjem lignita i poseduje cementne karakteristike. Naime, klasa C tipa se odlikuje brojnim mineralima Ca (portlandit, kalcit, dolomit), a udeo kombinacije $SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3$ čini 50-70% čestica pepela. Cementne osobine letećeg pepela se ispoljavaju kada se on pomeša vodom, formira se čvrst, kompaktan sloj koji smanjuje aeraciju, infiltraciju vode i prodiranje korena. Haynes (2009) ističe da jedan od fizičkih faktora koji limitira rast biljaka na pepelu je formiran cementni sloj koji onemogućava rast i širenje korenovog sistema.

6.3. Ukupan i DTPA- dostupan sadržaj hemijskih elemenata u pepelu i zemljištu

Ukupne koncentracije hemijskih elemenata u zemljištu uključuju sve frakcije elemenata, od lako do teško rastvornih ili nerastvornih elemenata vezanih u humusnim organskim jedinjenjima, neorganskim jedinjenima i mineralnim kompleksima, te predstavljaju maksimalan pul elemenata u zemljištu (Kabata-Pendias and Pendias, 2001; Gupta and Sinha, 2008). Procenjivanje **dostupnih frakcija hemijskih elemenata** je značajno za predvidjanje njihove mobilnosti i rizika usvajanja od strane biljaka (Sims and Kline, 1991).

Na Tabeli 98 je prikazan normalan opseg prosečnih vrednosti As, B, Cu, Mn, Mo, Se i Zn za različite tipove zemljišta (Kabata-Pendias and Pendias, 2001).

Tabela 98. Normalan opseg prosečnih vrednosti hemijskih elemenata za različite tipove zemljišta (Kabata-Pendias and Pendias, 2001).

Hemijski element (µg/g)	**Zemljište**
	Normalan opseg prosečnih vrednosti (M)
As	4.4 – 9.3
B	22.0 – 45.0
Cu	13.0 – 24.0
Mn	270.0 – 525.0
Mo	0.7 – 1.5
Se	0.25 – 0.34
Zn	45.0 – 100.0

Prosečne godišnje koncentracije **As** u pepelu K1, K3, K2 i zemljištu na K_{Bb} su bile toksične, dok su na ostalim kontrolnim staništima bile u opsegu normalnih za zemljište (4.4 – 9.3 µg/g, Kabata-Pendias and Pendias, 2001) (Tabela 98, Slika 36 A). Izmerene koncentracije As u pepelu deponije TENT – A u Obrenovcu su bile u opsegu vrednosti dobijenim u drugim studijama (2.8 - 6300.0 µg/g, Klein et al., 1975; 7.3 – 83.2 µg/g, Životić et al., 2012). Različite koncentracije As u pepelu mogu biti posledica razlika u kvalitetu uglja, uslovima sagorevanja, razlikama u parametrima rada blokova termoelektrane (opreme za prečišćavanje dimnog gasa i sistema za otpepeljavanje) i sistema transporta od termoelektrane do kaseta deponije pepela (Ratafia - Brown, 1994; Blanchard et al., 1995).

Arsen je veoma isparljiv hemijski element (Dreesen et al., 1978) koji pri visokoj temperaturi sagorevanja uglja prelazi u gasnu fazu i u vidu dima napušta reaktor (Gordon et al., 1974). Količina As koja isparava je različita, i može se kretati od 7-52% (Volodarskii et al., 1988) do 90% (Stojanović et al., 1994.) Međutim, deo As pri višim hladnim delovima reaktora ili dimnjaka se kondenzuje na česticama pepela i njegova koncentracija je najveća na najsitnijim česticama (Klein et al., 1975). Rezultati su pokazali da su koncentracije As na K1 bile velike, što ukazuje da deo As koji prolazi kroz filter ostaje u pepelu. Pepeo se suspenduje u vodi i kroz cevi transportuje do deponije. Takođe je zabeležen veći ukupan sadržaj As na K3 u odnosu na K2 (TENT-A u Obrenovcu). Naša istraživanja na deponiji pepela TENT-A u Obrenovcu su takođe pokazala trend smanjenja koncentracija As tokom vremena, te su veće koncentracije As bile izmerene u pepelu kasete stare 5 godina od kasete stare 13 godina (Mitrović et al., 2008). Smanjivanje koncentracije As tokom vremena na deponiji pepela TENT – A u Obrenovcu mogao bi se objasniti procesima hemijskog raspadanja, spiranja, uticaja živih organizama i klimatskih faktora (temperatura, količina padavina, vetar). Generalno, joni arsena se snažno vezuju za komponente zemljišta, kao što su: glina, humus, joni Ca, kao i hidratisani oksidi Fe i Al (Huang, 1975; Norrish, 1975). Rezultati u ovoj studiji su pokazali da uprkos tome što je tokom 11 godina na K2 došlo do poboljšanja u fizičko-hemijskim karakteristikama pepela, koncentracije As su i dalje ostale toksične. Prema Walsh et al. (1977) koncentracije As se smanjuju tokom vremena, ali još uvek nema dovoljno podataka koji bi predvideli koliko je vremena potrebno da se one smanje na normalan nivo.

U zemljištu kontrolnih staništa koncentracije As su bile manje u odnosu na kasete deponije pepela TENT-A u Obrenovcu, što može da ukaže na čvrsto vezivanje As za koloidne čestice zemljišta, s obzirom na to da je kod njih frakcija gline i glina + prah bila veća nego na deponiji pepela.

Sadržaj DTPA - dostupne frakcije As na svim kasetama deponije pepela TENT-A u Obrenovcu je bio veći u odnosu na kontrolna staništa (Slika 36 B). Rezultati su pokazali da je sadržaj DTPA – As i udeoDTPA dostupne frakcije u odnosu na ukupan sadržaj As u pepelu u sezoni na aktivnoj deponiji K1 bio manji u odnosu na pasivne kasete K3 i K2 (Slika 36 B). Međutim, Popović (2002) je metodom sekvencijalne ekstrakcije pepela na TENT-A u Obrenovcu dobio da As u IV fazi na aktivnoj (0.00

μg/g) i pasivnoj kaseti (0.01 μg/g) gotovo i nije vezan za organsku komponentu letećeg pepela. Takođe je i procenat As u IV fazi ekstrakcije u odnosu na ukupno ekstrakovanu koncentraciju As na aktivnoj (0.01%) i pasivnoj kaseti (0.05%) bio veoma mali. Generalno, isparljivi elementi, poput As su najmobilniji i najviše prisutni u vodno-rastvornim i jonoizmenjivim frakcijama pepela (Querol et al., 1996; Popović et al. 2013). Razlike između rezultata dobijenih u ovoj studiji i onih dobijenih od strane Popović (2002) vezanih za organski dostupnu frakciju As se mogu objasniti upotrebom različitih metoda i vrsta ekstrakanata za dobijanje mobilnih frakcija (Van der Hoek et al., 1994; Izquierdo and Querol, 2012). Takođe, Popović (2002) navodi da kod svih ekstrakcionih metoda odnos tečno/čvrsto ima veliki uticaj na rezultate, te što je takav odnos manji dobijaju se veće ukupne koncentracije, a manje ekstrakovane, odnosno rastvorne količine elemenata.

Sadržaj DTPA – As i udeo dostupne frakcije u odnosu na ukupan sadržaj As u pepelu u sezoni na K1 (TENT-A u Obrenovcu) je bio mali, što ukazuje na slabu mobilnost i rastvorljivost As u pepelu aktivne kasete. Prema Kabata-Pendias and Pendias (2001) As se odlikuje veoma niskim stepenom mobilnosti u redukovanoj sredini. Sadržaj DTPA – As se povećavao od K1 preko K3 do K2, što ukazuje da je tokom vremena došlo do povećane mobilnosti i rastvorljivosti As, a to se može vezati i slabo baznu reakciju pepela (Izquierdo and Querol, 2012), kao i za povećanje količine rastvorne organske supstance na pasivnim kasetama u odnosu na aktivnu kasetu. Chassapis et al. (2010) ukazuje da huminske substance pri nižim pH vrednostima imaju visok kapacitet adsorpcije za čestice letećeg pepela. Isti autori su pokazali da u baznoj sredini oko 80% humata može biti brzo i lako oslobođeno u rastvor, a da je oko 20% čvrsto asocirano za leteći pepeo i da se sporo oslobođa. Rastvoreni organski anjoni (citrata, tartarata, malata, oksalata) mogu da inhibiraju sorpciju As na površini ferohidrata i da sa njima formiraju snažne komplekse, te se u zemljišnom rastvoru povećava količina rastvorenih jona As (Redman et al., 2002; Violante et al., 2010). Tako su Grafe et al. (2002) utvrdili da se u prisustvu citrične kiseline (CA) smanjuje sorpcija arsenata za ferohidrat, dok se sorpcija arsenita smanjuje u prisustvu fulvo (FA) i citriričnе (CA), ali ne i u prisustvu huminske (HA) kiseline.

Rezultati su pokazali da je količina DTPA – As, kao i udeo DTPA - dostupne frakcije u odnosu na ukupan toksičan sadržaj As u pepelu na K3 i K2 (TENT-A u Obrenovcu) relativno velik, što ukazuje da rastvoren As koji je dostupan biljkama bi mogao da izazove njihova strukturno-funkcionalna oštećenja. Međutim, količina DTPA - dostupne frakcije As u zemljištu kontrolnih staništa je bila mala, kao i udeo dostupne frakcije u odnosu na ukupan sadržaj As u zemljištu, što ukazuje da je As čvrsto vezan za komponente zemljišta, te rastvorna količina As koja je dostupna biljkama ne bi trebalo da izazove njihova metabolička oštećenja.

Prosečne godišnje koncentracije **B** su u pepelu K1 i K3 bile toksične, na K2 su bile u opsegu normalnih vrednosti za zemljište (22.0 – 45.0 μg/g, Kabata-Pendias, and Pendias 2001), dok su na kontrolnim staništima bile u deficitu (Tabela 98, Slika 37 A). Sadržaj B u pepelu deponije na TENT-A je bio manji od istog utvrđenog u pepelu nastalim sagorevanjem lignita i tvrdih mrkih ugljeva (320 – 1900 μg/g, O` Gorman and Walker, 1972). Različite koncentracije B u pepelu su kao u slučaju As rezultat razlika u kvalitetu uglja, tehnologije sagorevanja i transporta pepela od elektrane do deponije pepela.

Prema Querol et al. (1995) bor je element koji jednim delom isparava tokom sagorevanja uglja, a delom se kondezuje na površini čestica pepela. Tokom sagorevanja lako isparava postepeno se kondezujući u vidu borovih soli na površini čestica pepela (Dudas, 1981). Visoke koncentracije B na K1 (TENT-A u Obrenovcu) ukazuju da se B koncetruje u česticama pepela. Koncentracija B se tokom vremena smanjivala, tako da je na K2 bila značajno manja u odnosu na K3. Mitrović et al. (2008) su na kasetama različite starosti deponije pepela TENT-A u Obrenovcu ustanovili isti trend smanjivanja koncentracije B s vremenom. Slično je i Cope (1962) zabeležio da je sadržaj B u pepelu aktivne kasete bio mnogo veći (276 mg/kg^{-1}) nego 25 godina kasnije, kada se ta količina smanjila na vrednost od 4.3 mg/kg^{-1}. Smanjivanje sadržaja B na kasetama različite starosti se može objasniti postepenim spiranjem tokom vremena (Matsi and Tsadilas, 2006). Povoljni fizičko-hemijski uslovi na K2, kao što je veća frakcija gline i gline + prah, niža pH i veća količina organskih supstanci, kao posledice razlaganja živih organizama mogu da povećaju adsorbciju B za ove komponente više nego na K3, čime se povećava kapacitet substrata za vezivanje ovog elementa. Bor čvrsto koprecipitira sa hidroksidima Ca i Mg (Kabata-Pendias and Pendias, 2001), vezuje se za hidrokside Al i Fe (Jin et al., 1987), zatim za alumosilikate (Pagenkopf and Connolly, 1982), $CaCO_3$

(Hollis et al., 1988), minerale gline i organske supstance (Kabata-Pendias and Pendias, 2001; Matsi and Tsadilas, 2006).

Zemljišta na kontrolnim staništima su karakterisala značajno manjim koncentracijama B u odnosu na sve kasete deponije pepela TENT-A u Obrenovcu. Kabata-Pendias and Pendias (2001) ukazuje da se ne retko kod različitih tipova zemljišta B nalazi u deficitu. Tako su niske vrednosti B bile izmerene kako u peskovitim i glinovitim zemljištima, tako i u podzolu i fluvisolu.

Sadržaj DTPA - dostupne frakcije B na deponiji pepela TENT-A u Obrenovcu je bio uglavnom veći u odnosu na kontrolna staništa (Slika 37 B). Bor je u letećem pepelu prisutan u vidu rastvornih borata i manje rastvornih borosilikata (James et al., 1982). Bor se veoma lako i brzo rastvara u kontaktu sa vodom i do 50-78% (Cox et al., 1978; Querol et al., 2001; Narukawa et al., 2003). Sadržaj DTPA – B i udeo DTPA - dostupne frakcije u odnosu na ukupan sadržaj B u pepelu K1 je bio veći u odnosu na K3 i K2 (Slika 37 B), što ukazuje da je najveća organska, rastvorna frakcija prisutna u pepelu aktivne kasete i da se ona postepeno smanjuje sa vremenom. Bor je u uglju i pepelu u velikoj meri asociran sa organskom komponentom (Swajne, 1995; Finkelman, 1995; Boyd et al., 2002), što su i naši rezultati potvrdili. Prema mnogim autorima, vodno - rastvorne frakcije B, kao i frakcije B specifično adsorbovane na površini čestica gline ili asocirane sa organskom supstancom predstavljaju količine B koje su najdostupnije biljkama (Keren and Bingham, 1985; Jin et al., 1987; Tsadilas et al., 1994). Organska frakcija B je visoko korelisana sa vodno-rastvornom frakcijom B u zemljištu (Goldberg et al., 1982) i pepelu (Lee et al., 2008). Međutim, količine rastvorne frakcije B dobijene u ovoj studiji (1.448 μg/g na K3 i 0.304 μg/g na K2) su bile manje od količine vodno-rastvornog B u pepelu dobijene iz termolektrana u Australiji (2.5 – 13.7 μg/g) (Manoharan et al., 2010) i Japanu (4.0 – 14.0 μg/g) (Iwashita et al., 2005).

Rastvorena količina B u pepelu zavisi od njegove ukupne količine (Churey et al., 1979; Iwashita et al., 2005), te se tako od veće ukupne količine B dobija i veća rastvorna količina koja je lako dostupna biljkama, što se slaže sa rezultatima dobijenim u ovoj studiji. Takođe, prema Marschner (1995) B se u peskovitom zemljištu rastvara lako i brzo, dok se u glinovitim adsorbuje više, što se takođe podudara sa našim rezultatima. Količina DTPA – B, kao i udeo DTPA - dostupne frakcije u odnosu na toksičan sadržaj B u pepelu na K3 relativno velik, što ukazuje da bi rastvorena količina

B koja je dostupna biljkama mogla izazvati njihova metabolička oštećenja. Međutim, količina DTPA – B, kao i udeo dostupne frakcije u odnosu na normalan sadržaj B u pepelu na K2 je mali, te količina B koju biljka usvoji zavisi od vrste biljke i njene potrebe za ovim elementom (Kabata – Pendias and Pendias, 2001). Količina DTPA - dostupne frakcije B u zemljištu kontrolnih staništa, kao i udeo organski dostupne frakcije u odnosu na deficitaran sadržaj B u zemljištu je bio mali, što može da ukaže da je B čvrsto vezan za komponente zemljišta, i da je rastvorena količina B koja je dostupna biljkama mala.

Prosečne godišnje koncentracije **Cu** su u pepelu K1, K3, K2, K_{Bb} i K_{Bk} bile toksične, dok su na K_{Ko} bile u normalnom opsegu (13.0 – 24.0 μg/g, Kabata-Pendias and Pendias, 2001) (Tabela 98, Slika 38 A). Dobijene vrednosti Cu na K1 i K3 su bile slične vrednostima Cu u pepelu dobijenim sagorevanjem lignita i tvrdih mrkih ugljeva (58 - 3020 μg/g, O` Gorman and Walker, 1972), dok su na K2 bile nešto manje. Životić et al. (2012) su na K3 (TENT-A u Obrenovcu) izmerili slične koncentracije Cu i to na mestima uz nasip (19.8 – 58.0 μg/g) i u centralnim delovima kasete (27.7 – 83.9 μg/g).

Bakar se svrstava u isparljive elemente kao i arsen, međutim manje je isparljiv od njega (Klein, et al., 1975). Lee et al. (1980) ukazuje da pri temperaturi ispod 1250 °C bakar ne odlazi sa gasovima isparenja, te se koncentruje u manjim frakcijama čestica pepela zajedno sa arsenom (Davidson et al., 1974; Kaakinen et al., 1975; Goodarzi, 2006; Goodarzi and Sanei, 2009). Toksične koncentracije Cu na K1 (TENT-A u Obrenovcu) ukazuju da ovaj element obogaćuje pepeo aktivne kasete. Količina Cu je na K3 bila veća u odnosu na K2, i uočava se tendencija smanjivanja toksične koncentracije tokom vremena. Suprotno našim rezultatima, Mitrović et al (2008) su utvrdili da koncetracija Cu varira na deponiji pepela od 73.75 μg/g (pepeo star 5 godina) do 96.75 μg/g (pepeo star 13 godina). Prema Kabata-Pendias and Pendias (2001) faktori koji utiču na količinu Cu u zemljištu su oksidi Fe, Mn i Al, frakcija gline, stepen zasićenosti bazama i organska supstanca. Tako, veća frakcija gline i gline + prah, kao i veća ukupna količina bazičnih katjona na K2 u odnosu na K3 ukazuje na mogućnost čvrstog vezivanja Cu za komponente supstrata. Rezultati ukazuju da su promenjene fizičko-hemijske karakteristike pepela posle 5 (K3) i 11 (K2) godina bile dovoljne samo da smanje toksičan nivo Cu.

Zemljišta na kontrolnim staništima su se karakterisala značajno manjim koncentracijama Cu u odnosu na sve kasete deponije pepela TENT-A u Obrenovcu. Količina Cu u zemljištu na K_{Bb} i K_{Bk} je bila toksična, što ukazuje na antropogeno zagađivanje Cu, najverovatnije poreklom iz saobraćaja. K_{Bb} se nalazi u užem gradskom jezgru, dok se K_{Bk} nalazi pored parkinga i oba staništa su izložena intezivnom i kontinuiranom zagađivanju izduvnim gasovima motornih vozila. Čestice prašine poreklom iz saobraćaja često u svom sastavu kao komponentu imaju Cu (Gajić, 2007).

Sadržaj DTPA - dostupne frakcije Cu na svim kasetama deponije pepela TENT-A u Obrenovcu je bio manji u odnosu na kontrolna staništa (Slika 38 B). Popović (2002) je u IV organskoj fazi sekvencijalne ekstrakcije pepela dobio veće koncentracije Cu na aktivnoj (1.75 – 4.04 μg/g) i pasivnoj kaseti (0.42 - 3.19 μg/g), kao i veći udeo Cu u odnosu na ukupnu koncentraciju (7.68 - 11.61%; 1.53 - 14.31%) od naših. Sadržaj DTPA – Cu i udeo DTPA - dostupne frakcije u odnosu na ukupan sadržaj Cu u pepelu na K1 i K3 je bio veći u odnosu na K2 (Slika 38 B), što ukazuje da se tokom vremena Cu čvrsto vezuje za primarne minerale i organsku frakciju pepela, i da je količina rastvorenog Cu manje dostupna biljkama. Smanjena mobilnost i dostupnost Cu biljkama se obično vezuje za slabo baznu reakciju zemljišta, veliku količinu karbonata, minerala gline i dominaciju slabo rastvornih organskih kiselina (Kabata-Pendias and Pendias, 2001; Garrido et al. 2005; Kumpiene et al., 2008). Povećana količina minerala gline za samo 4% može da smanji mobilnost Cu i do 77% (Alvarez-Ayuso and Garcia-Sanchez, 2003a).

Rezultati su pokazali da je količina DTPA – Cu, kao i udeo DTPA - dostupne frakcije u odnosu na toksičan sadržaj Cu u pepelu K3 i K2 mali, te je količina Cu koju biljka može da usvoji mala. Međutim, količina DTPA - Cu, kao i udeo DTPA - dostupne frakcije u odnosu na ukupan normalan sadržaj Cu u zemljištu kontrolnih staništa je bio velik, što ukazuje da je Cu mobilan i rastvoran, kao i da količine ovog elementa koje biljka može da usvoji zavise od vrste i njene potrebe za optimalno funkcionisanje. Prema Hsu and Lo (2000) mobilnost Cu je znatno povećana u prisustvu velike količine lako rastvornih organskih kiselina, kao što su huminske (HA) i fulvo kiseline (FA). Violante et al. (2010) ukazuju na pozitivnu korelaciju između sadržaja Cu u biljkama i Cu-FA kompleksa.

Prosečne godišnje koncentracije **Mn** su na K1 i K_{Bk} bile toksične, na K_{Ko} i K_{Bb} bile su u normalnom opsegu, dok su na K3 i K2 u deficitu (270.0 – 525.0 μg/g, Kabata-Pendias and Pendias, 2001) (Tabela 98, Slika 39 A). Izmerena količina Mn na K1 je bila u nivou, a na K3 i K2 ispod vrednosti dobijenih za pepeo nastalim sagorevanjem lignita i tvrdih mrkih ugljeva (310 – 1030 μg/g, O` Gorman and Walker, 1972). Životić et al. (2012) su na K3 (TENT – A u Obrenovcu) izmerili veće koncentracije Mn u pepelu uz nasip (258.8 – 975.5 μg/g) i centralnom delu kasete (361.4 – 1140.0 μg/g) u odnosu na vrednosti dobijene u ovoj studiji.

Mangan se svrstava u element koji ne isparava pri sagorevanju uglja (Lee et al., 1980) i prema Furuya et al. (1987) ima koncentraciju koja je propocionalna veličini i prečniku, što je indirektni dokaz neisparljivosti. Pojedini autori smatraju da je Mn element koji se u jednakim količinama koncentruje u česticama pepela i šljake (Klein et al., 1975; Goodarzi, 2006), dok ga Davidson et al. (1974) svrstavaju u intermedijernu grupu, i to između elemenata koji obogaćuju sitne čestice pepela i elemenata koji se nalaze u jednakim količinama u pepelu i šljaci. Visoke koncentracije Mn u pepelu K1 (TENT-A u Obrenovcu) ukazuju da se ovaj element koncentruje u česticama pepela. Koncentracije Mn imaju tendenciju značajnog smanjivanja tokom vremena, odnosno na K2 su bile manje u odnosu na K3, što ukazuje da je Mn u pepelu podložan spiranju. Naša istraživanja na deponiji pepela TENT-A u Obrenovcu su pokazala smanjivanje koncentracije Mn sa vremenom (714.67 μg/g, kaseta stara 5 godina i 422.25 μg/g, kaseta stara 13 godina, Mitrović et al. 2008). Maiti and Jaiswal (2008) su takođe ustanovili smanjivanje koncentracije Mn tokom vremena (328 μg/g u pepelu aktivne deponije i 130 μg/g u pepelu starije kasete). Oksidi Mn se odlikuju velikim afinitetom vezivanja hemijskih elemenata, kao što su: As, Se, Cu, Zn i Mo, i sa njima formiraju stabilne komplekse (Bartlett, 1986; Kabata-Pendias and Pendias, 2001). Visoke koncentracija Mn su povezane sa većim sadržajem gline i količine organske supstance, zbog čega su koncentracije Mn veće na ilovači, a manje na peskovitom zemljištu (Kabata-Pendias and Pendias, 2001). Međutim, uprkos tome što je na K2 frakcija ukupnog peska bila manja, a frakcija gline veća u odnosu na K3, koncentracija Mn je i dalje bila u deficitu.

Koncentracije Mn u kontrolnim zemljištima su bile značajno veće u odnosu na sve K3 i K2 deponije pepela TENT-A u Obrenovcu. Na K_{Ko} i K_{Bb}, frakcija gline i gline + prah je bila velika, a takva zemljišta više vezuju Mn nego peskovita zemljišta (Rieuwerts et al., 1998). Na K_{Bk}, koncentracije Mn su bile toksične, što se verovatno može objasniti kontinuiranim zagađivanjem polutantima poreklom iz saobraćaja. Ustanovljeno je da se Mn često nalazi u sastavu čestica urbane sredine (Götschi et al., 2005).

Sadržaj DTPA - dostupne frakcije Mn na svim kasetama deponije pepela TENT-A u Obrenovcu je bio manji u odnosu na kontrolna staništa (Slika 39 B). Prema Popović (2002) u IV fazi sekvencijalne ekstrakcije pepela, izmerene koncentracije Mn na aktivnoj (9.87 - 51.50 μg/g; 5.44 – 17.05%) i pasivnoj (10.08 – 63.19 μg/g; 2.62 – 12.60%) kaseti TENT-A u Obrenovcu su bile znatno veće od onih dobijenih u ovoj studiji. Maithi and Nandhini (2006) su izmerili slične količine DTPA – Mn i udeo u odnosu na ukupnu količinu Mn u pepelu (1.2 μg/g; 0.4%), dok su Gupta and Sinha (2008) dobili veće vrednosti (40.6 μg/g; 15.49%) od naših. Sadržaj DTPA – Mn i udeo DTPA - dostupne frakcije u odnosu na ukupan sadržaj Mn u pepelu na K1 i K3 je bio veći u odnosu na K2 (Slika 39 B), što ukazuje da se tokom vremena Mn čvrsto vezuje za primarne minerale pepela, i da je jako mala količina Mn rastvorna i dostupna biljkama. Mn je pretežno rastvoran u ne-silikatnoj fazi pepela (Kukier et al., 2003; Kim and Kazonich, 2004). Querol et al. (2001) ukazuju da je u pepelu, količina Mn koja se rastvara generalno mala i da je u neutralnoj i alkalnoj sredini ta rastvorena količina <0.1 mg/kg. Smanjivanje rastvorene količine Mn od K1 preko K3 do K2 se može objasniti i procesima oksido-redukcije. Tako, prema Kabata-Pendias and Pendias (2001) jedinjenja Mn u zemljištu podležu brzim procesima oksidacije i redukcije u varijabilnim uslovima sredine, te je u redukovanim uslovima veća rastvorljivost i dostupnost Mn (K1), dok je u oksidovanim uslovima ona manja (K3 i K2).

Rezultati su pokazali da je količina DTPA – Mn, kao i udeo DTPA - dostupne frakcije u odnosu na ukupan deficitiran sadržaj Mn u pepelu na K3 i K2 mali, te količina rastvorenog Mn koja je dostupna biljkama mogla bi da izazove funkcionalno-strukturna oštećenja vezana za njegov deficit. Međutim, količina DTPA - Mn, kao i udeo DTPA - dostupne frakcije u odnosu na ukupan sadržaj Mn u svim kontrolnim zemljištima je bio velik, što može da ukaže na njegovu veću mobilnost, rastvorljivost i

dostupnost biljkama. Tako su Hodgson et al. (1966) zabeležili da je u zemljištu rastvoran Mn uglavnom asociran u organskim kompleksima. Cheshire et al. (1977) su ustanovili da se Mn koji je vezan za fulvo kiseline (FA) lako rastvara.

Prosečne godišnje koncentracije **Mo** su na K1, K3, K2 i K_{Bk} bile toksične, dok su na K_{Ko} i K_{Bb} bile u normalnom opsegu, (0.7 – 1.5 μg/g, Kabata-Pendias and Pendias, 2001) (Tabela 98, Slika 40 A). Izmerene koncentracije Mo u pepelu svih kaseta deponije TENT – A u Obrenovcu su bile manje od onih izmerenih za letići pepeo (7 – 117 μg/g, Klein et al., 1975). Slično našim rezultatima, koncentracije Mo u pepelu K3 (TENT-A u Obrenovcu) su se kretale od 0.3 –2.7 μg/g (Životić et al., 2012). Variranja u količini Mo u pepelu deponije TENT-A se, kao u slučaju ostalih hemijskih elemenata, mogu objasniti istovremenim deponovanjem pepela iz 6 blokova termoelektrane, koji se razlikuju po karakteristikama opreme i instalacija. Takođe, blokovi koriste ugalj sa istog kopa, ali različitih nivoa ugljenog sloja, što uzrokuje i razlike u sadržaju mikroelemenata u uglju i pepelu (James and Trimble, 2001).

Molibden se kao As, B i Cu svrstava u isparljive elemente, međutim jedan deo se kondezuje na površini čestica, i prema mnogim autorima njegova koncentracija se povećava sa smanjivanjem dimenzija čestica (Kaakinen et al., 1975; Goodarzi, 2006; Goodarzi and Sanei, 2009). Smatra se da se oko 80% Mo koncentruje na površini čestica (Querol et al., 1995; Spears and Martinez-Tarrazona, 2004). Visoke koncentracije Mo u pepelu K1 (TENT-A u Obrenovcu) ukazuju da je pepeo obogaćen ovim hemijskim elementom. Koncentracije Mo su na K3 i K2 bile manje u odnosu na K1, a veće na K2 u odnosu na K3. Mitrović et al. (2008) su dobili znatno veće koncentracije Mo u pepelu deponija TENT-A u Obrenovcu nego što su izmerene u ovoj studiji. Tako su koncentracije Mo na kaseti staroj 5 godina iznosile 11.35 μg/g, a na kaseti staroj 13 godina 8.50 μg/g. Molibden ima visok afinitet vezivanja za hidrokside Fe i Al, organsku supstancu, CaCO3, Cu, Zn i Mn (Kabata-Pendias and Pendias, 2001). Prema pojedinim autorima Mo koji je adsorbovan na $Fe(OH_3)$ je lako razmenjiv, ali kako se njegovo precipitiranje sa vremenom nastavlja, on postaje manje rastvorljiv i nalazi se u obliku feromolibdata ili drugih slabo rastvornih Fe-Mo semikristalnih formi (Krauskopf, 1972; Norrish, 1975; Lindsay, 1979). Takođe, Čumakov (1988) ukazuje da je Mo koji je asociran sa polimernim organskim jedinjenjima rezistentan na oksidaciju i da je njegova koncentracija u takvom zemljištu velika. Moguće je da se Mo na K3

(TENT-A u Obrenovcu) adsorbuje na Fe (OH_3), zbog čega je i njegova koncentracija manja u pepelu. Na K2, tokom vremena može doći do smanjivanja količine molibdata koji je adsorbovan na Fe (OH_3), a povećanja količine organske supstance, što bi uticalo na povećanje količine Mo u pepelu.

Koncentracije Mo u kontrolnim zemljištima su bile značajno manje u odnosu na K1 i K2 deponije pepela TENT-A u Obrenovcu. Količina Mo u zemljištu na K_{Bk} je bila toksična. Kabata-Pendias and Pendias (2001) ukazuje da količina Mo može biti velika u zemljištima tipa ilovače i gline.

Sadržaj DTPA - dostupne frakcije Mo na kasetama deponije pepela TENT-A u Obrenovcu je bio uglavnom veći u odnosu na kontrolna staništa (Slika 40 B). Prema Pöykiö et al. (2011) količina organski vezanog Mo u šljaci može da bude < 0.3 mg/kg, a u letećem pepelu i do 1.7 mg/kg. Sadržaj DTPA – Mo i udeo DTPA - dostupne frakcije u odnosu na ukupan sadržaj Mo u pepelu na K1 je bio veći u odnosu na K3 i K2, što ukazuje da se tokom vremena smanjuje količina rastvorenog i dostupnog oblika Mo. Smatra se da je Mo koji je koncentrovan na površini čestica pepela tri puta više rastvorljiv nego onaj koji je asociran sa Fe, a procenat rastvorenog Mo u odnosu na ukupnu količinu tog elementa u pepelu iznosi 3.61 (Kukier et al., 2003).

Veća rastvorljvost i mobilnost Mo na K1 (TENT – A u Obrenovcu) u odnosu na K3 i K2 se može objasniti alkalnom prirodom pepela (izmerena pH na K1 je 8.03). Mo pokazuje najveću rastvorljivost u alkalnoj sredini, dok se njegova rastvorljivost redukuje sa smanjivanjem pH (Adriano, 2001; Kabata-Pendias and Pendias, 2001; Kukier et al., 2003). Rezultati su pokazali da se rastvorljivost Mo smanjivala tokom vremena od K3 do K2, a to bi se prema Čumakov (1988) moglo objasniti visokim afinitetom vezivanja Mo za okside Fe i organske substance. Mengel and Kirkby (1978) ukazuju na čvrsto vezivanje Mo^{5+} za huminske kiseline i veoma sporo oslobađanje ovog elementa iz organski vezanih formi, te je njegova dostupnost biljkama mala.

Rezultati u ovoj studiji su pokazali da je količina DTPA – Mo, kao i udeo DTPA - dostupne frakcije u odnosu na ukupan toksičan sadržaj Mo na K3 i K2 bio mali, te je i količina koju biljka može da usvoji verovatno dovoljna za optimalno funkcionisanje biljaka. Količina DTPA - Mo, kao i udeo DTPA - dostupne frakcije u odnosu na ukupan sadržaj Mo u svim kontrolnim zemljištima je bio mali, što može da ukaže na njegovu

veću vezanost za neorganske i organske komponente zemljišta, zbog čega je mobilnost, rastvorljivost i dostupnost Mo biljkama potencijalno mala.

Prosečne godišnje koncentracije **Se** su na K1, K3, K2, K_{Bk}, K_{Ko} i K_{Bb} bile toksične (0.25 – 0.34 μg/g, Kabata-Pendias and Pendias, 2001) (Tabela 98, Slika 41 A). Izmerene koncentracije Se na deponiji pepela TENT – A u Obrenovcu su bile slične onim dobijenim za leteći pepeo (0.0003 – 49.5 μg/g; Meawad et al., 2010). Mitrović et al. (2008) su na deponiji pepela TENT-A u Obrenovcu, na kaseti staroj 5 godina i na kaseti staroj 13 godina izmerili koncentracije Se koje su bile manje od naših (< 0.1 μg/g). Međutim, veće koncentracije Se od naših bile su izmerene u pepelu dobijenim iz termoelektrane Miliken Staton, NY, USA (5.1 μg/g, Gutenmann et al., 1979) i u pepelu iz termoelektrane u Holandiji (16.1 μg/g, Nugteren et al., 2001).

Selen se svrstava u isparljive elemente, međutim jedan deo se koncentruje u sitnim česticama pepela (Davidson et al., 1974; Kaakinen et al., 1975; Klein et al., 1975). Na površini čestica pepela reaguje sa Ca i kondezuje se u vidu $CaSeO_3$ (Shah et al., 2008). Visoke koncentracije Se na K1 (TENT-A u Obrenovcu) ukazuju da ovaj element značajno obogaćuje čestice pepela. Količina Se je na K3 i K2 duplo manja u odnosu na K1, što ukazuje na spiranje tokom vremena. Prema Kabata-Pendias and Pendias (2001) na peskovitom zemljištu koncentracija Se postepeno opada duž zemljišnih profila. Hidroksidi Fe i Mn, minerali gline i organske supstance imaju visok afinitet vezivanja svih formi Se (Kabata-Pendias and Pendias, 2001). Međutim, uprkos tome što je na K2, frakcija gline, gline + prah i količina organske supstance povećana, koncentracije Se su ostale i dalje toksične.

Koncentracije Se u zemljištu kontrolnih staništa su bile značajno manje u odnosu na sve kasete deponije pepela TENT-A u Obrenovcu. Međutim, i te koncentracije Se su bile toksične. Kabata-Pendias and Pendias (2001) ukazuju da količina Se u glinovitim zemljištima i ilovači može da bude visoka

Sadržaj DTPA - dostupne frakcije Se na svim kasetama deponije pepela TENT-A u Obrenovcu je bio veći u odnosu na kontrolna staništa (Slika 41 B). Sadržaj DTPA – Se i udeo DTPA - dostupne frakcije u odnosu na ukupan sadržaj Se u pepelu na K1 je bio značajno veći u odnosu na K3 i K2. Rezultati su pokazali da je količina rastvornog i dostupnog oblika Se na aktivnoj kaseti velika i da se ona tokom vremena smanjivala. Selen je u uglju uglavnom asociran za sulfide i organske komponente (Finkelman, 1995;

Senior et al., 2000; Yudovich and Ketris, 2006). Količina Se vezanog za organske supstance u pepelu može da iznosi i do 4.1 μg/g (Pöykiö et al., 2011). Rastvorena količina Se zavisi od njegove ukupne koncentracije u pepelu i pH vrednosti, i rastvorljivost Se se povećava iznad pH = 8 (Iwashita et al., 2005). Značajno manje rastvorne količine Se na K3 i K2 se mogu objasniti nešto nižim vrednostima pH pepela i verovatno jačim vezivanjem Se za okside Al, Fe (Riley et al., 2007; Cornelis et al., 2008) i Ca (Shah et al., 2008). Prema Kabata-Pendias and Pendias (2001) mobilnost i rastvorljivost Se se smanjuje sa većom količinom gline i organske substance, što je u saglasnosti sa našim rezultatima.

Rezultati u ovoj studiji su pokazali da je količina DTPA – Se, kao i udeo DTPA - dostupne frakcije u odnosu na ukupan toksičan sadržaj na K3 i K2 bio mali, te je i količina koju biljka može da usvoji dovoljna za normalno funkcionisanje biljaka. Takođe i količina DTPA - Se, kao i udeo DTPA - dostupne frakcije u odnosu na ukupan toksičan sadržaj Se u svim kontrolnim zemljištima je bio mali, što može da ukaže na njegovu veću vezanost za komponente zemljišta, zbog čega je i dostupnost Se biljkama mala.

Prosečne godišnje koncentracije **Zn** su na K1, K3, K_{Bb}, K_{Ko} i K_{Bk} bile u normalnom opsegu, dok su na K2 bile u deficitu (45.0 – 100.0 μg/g, Kabata-Pendias and Pendias, 2001) (Tabela 98, Slika 42 A). Izmerene koncentracije Zn na K1 se slažu sa nalazima O` Gorman and Walker (1972) koji navode da se količina Zn u pepelu lignita i tvrdih mrkih ugljeva kreće od 50 - 320 μg/g, dok su na K3 i K2 (TENT-A u Obrenovcu) izmerene manje koncentracije Zn od gore navedenih. Slične našim vrednostima dobili su Životić et al. (2012) na K3 (TENT-A u Obrenovcu) u uzorcima pepela uz nasip (17.3 – 41.6 μg/g) i u centralnom delu kasete (31.5 – 80.6 μg/g).

Cink se svrstava u elemente koji isparavaju pri sagorevanju, ali se jednim delom koncentruju u pepelu (Shpirt and Punanova, 2007). Prema Lee et al. (1980), cink kao i bakar ne isparava na temperaturama ispod 1250°C, a $CaSO_4$ koji može da bude prisutan uglju ili da nastane pri njegovom sagorevanju sorbuje cink u finim česticama (Querol et al., 1995). Prema pojedinim autorima najveće koncentracije cinka se nalaze u sitnim česticama pepela (Davidson et al., 1974; Kaakinene et al., 1975; Klein et al., 1975), dok prema Goodarzi and Sanei (2009) cink se koncentruje podjednako u pepelu i šljaci. Zn se raspoređuje između silikatnih i ne-silikatnih frakcija čestica pepela (Kim and

Kazonich, 2004) i 50-60% je prisutan u staklastoj formi pepela (Spears, 2004). Koncentracije Zn na K1 (TENT-A u Obrenovcu) ukazuju da ovaj element obogaćuje čestice pepela. Koncentracije Zn se progresivno smanjuju, te je ta količina na K3 bila značajno veća u odnosu na K2, što može da ukaže na intezivno spiranje tokom vremena. Slično, Mitrović et al. (2008) su utvrdili da se koncentracije Zn smanjuju sa vremenom, te su na kaseti staroj 5 godina iznosile 50.0 μg/g, a na kaseti staroj 13 godina 37.5 μg/g. Prema Zyrin et al. (1976) cink se čvrsto vezuje za frakciju gline i organske supstance (24-63%), a manje za hidrokside Al, Fe i Mn (14-38%). Količina Zn, takođe, zavisi od količine baznih katjona (30%) i kapaciteta katjonske razmene (20%) (Kabata-Pendias and Pendias, 2001). Uprkos tome što je na K2 frakcija gline, kao i količina baznih katjona povećana u odnosu na K3, količina Zn se nalazila u deficitu. Međutim, količina kiselih katjona je bila malo povećana, a prema Norrish (1975) kako se količina kiselosti povečava, tako se i količina Zn smanjuje, jer se povećava njegova rastvorljivost, što dovodi do njegovog gubitka u površinskom sloju, naročito peskovitih zemljišta.

Koncentracija Zn u zemljištu kontrolnih staništa je bila značajno veća u odnosu na sve kasete deponije pepela TENT-A u Obrenovcu. Prema Kabata-Pendias and Pendias (2001) prosečna količina Zn na glinovitim zemljištima i ilovači može da varira. Staništa u urbanoj zoni Beograda, kao što su K_{Bb} i K_{Bk} imaju povećanu količinu Zn u površinskom sloju zemljišta, što može biti posledica depozicije čestica prašine poreklom iz saobraćaja (Gajić, 2007).

Sadržaj DTPA - dostupne frakcije Zn na kasetama deponije pepela TENT-A u Obrenovcu je bio uglavnom manji u odnosu na kontrolna staništa (Slika 42 B). Popović (2002) je u IV fazi sekvencijalne ekstrakcije pepela dobio veće koncentracije Zn na aktivnoj kaseti TENT-A (2.19 – 4.70 μg/g; 7.05 – 15.88%) u odnosu na naše, dok su na pasivnoj kaseti te vrednosti bile slične (0.15 – 1.86 μg/g; 0.64 – 12.91%). Međutim, Maiti and Jaiswal (2008) su dobili slične našim koncentracije DTPA –Zn (0.95 μg/g) i udeo dostupne frakcije u odnosu na ukupan sadržaj (2.15%). Sadržaj DTPA – Zn i udeo DTPA - dostupne frakcije u odnosu na ukupan sadržaj Zn u pepelu na K1 je bio veći u odnosu na K3 i K2 (Slika 42 B). Rezultati su pokazali da je količina rastvornog i mobilnog oblika Zn na aktivnoj kaseti relativno velika i da se ona tokom vremena smanjivala. Generalno, Zn ima najveći afinitet vezivanja za sulfide u uglju i pepelu (Querol et al., 1996). Veća količina rastvornog i mobilnog Zn na K1 u odnosu na K3 i

K2 se može objasniti većom ukupnom količinom Zn u pepelu. Tako su Su and Wong (2003) dobili da je količina DTPA – Zn pozitivno korelisana sa ukupnom količinom Zn. Manja količina rastvornog i dostupnog Zn na K2 u odnosu na K3 se može povezati sa njegovim jačim vezivanjem za alumosilikate pepela, Fe okside, glinu i nerastvorna organska jedinjenja.

Rezultati u ovoj studiji su pokazali da je količina DTPA – Zn, kao i udeo DTPA - dostupne frakcije u odnosu na ukupan sadržaj Zn na K3 mali, te i količina koju biljka može da usvoji je mala. Međutim, količina DTPA - Zn, kao i udeo DTPA - dostupne frakcije u odnosu na deficitaran sadržaj Zn na K2 je bio manji u odnosu na K3, što ukazuje da je dostupna količina Zn manja i da kod biljaka može izazvati funkcionalne promene vezane za njegov deficit. Količina DTPA – Zn, kao i udeo DTPA - dostupne frakcije u odnosu na ukupan sadržaj Zn je uglavnom na svim kontrolnim staništima bio velik, što može da ukaže na njegovu veću rastvorljivost usled niže pH vrednosti i formiranja kompleksa Zn sa rastvorenim organskim kiselinama, zbog čega je i dostupnost Zn biljkama potencijalno velika.

6.4. Sadržaj hemijskih elemenata u korenu i listovima ispitivanih biljaka

Hemijski elementi predstavljaju važne strukturne komponente ključnih molekula, i istovremeno su uključeni u mnoge metaboličke procese, kao što su fotosinteza, respiracija, fiksacija i asimilacija glavnih nutrijenata (N i S). Takođe, aktiviraju mnoge enzime ili ulaze u sastav metaloenzima (elektron transfer enzimi). Stoga, svaka promena u koncentraciji hemijskih elemenata može da dovode do pojave deficita ili toksičnosti, koji izazivaju fiziološke i biohemijske promene i inhibiraju rast biljaka (Tabela 99).

Tabela 99. Koncentracije hemijskih elemenata u listovima biljaka: opseg deficita, normalan opseg i opseg toksičnosti (Kabata – Pendias and Pendias, 2001).

Hemijski element (µg/g)	Opseg deficita	Normalan opseg	Opseg toksičnosti
As	-	1.0 - 1.7	5.0 – 20.0
B	5.0 – 30.0	10.0 – 100.0	50.0 – 200.0
Cu	2.0 – 5.0	5.0 – 30.0	20.0 – 100.0
Mn	10.0 – 30.0	30.0 – 300.0	400.0 - 1000
Mo	0.1 - 0.3	0.2 – 5.0	10.0 – 50.0
Se	-	0.01 – 2.0	5.0 – 30.0
Zn	10.0 – 20.0	27.0 – 150.0	100.0 – 400.0

Tolerancija biljaka na metale je povezana sa fiziološkim i molekularnim mehanizmima u korenu i listu, a fiziološki opseg esencijalnih elemenata između deficita i toksičnosti je često veoma uzak, te je održavanje homeostaze veoma važno u promenljivim uslovima sredine (Clemens, 2001). Prema Baker (1987) ćelijski mehanizmi tolerancije na metale se zasnivaju na dvema osnovnim strategijama: **a) imobilizacija metala i b) akumulacija metala**. Mehanizam **imobilizacije metala** deluje na nivou **apoplazme** i **plazma membrane**. Zasniva se na ograničenom usvajanju i akumulaciji toksičnih jona metala, tako što se: 1) povećava njihov kapacitet vezivanja za ćelijski zid (sintetišu se enzimi koji su uključeni u biosintezu ćelijskog zida) ili 2) sprečava njihov ulazak u citoplazmu i transport preko plazma membrane, i to tako što se smanjuje usvajanje kroz modifikaciju jonskih kanala i/ili izbacivanjem metala iz ćelije aktivnom efluks pumpom, a takođe se mogu sa spoljašnje strane plazma membrane formirati helatni kompleksi metala sa organskim kiselinama (Zheng et al., 1998; Tong et al., 2004; Clemens, 2006). Većina toleratnih biljaka na taj način održava niske koncentracije toksičnih jona metala u citoplazmi ćelije (Baker et al., 1981; Clemens, 2001). Druga strategija je bazirana na toleranciji **visokih koncentracija metala u citoplazmi ćelije (akumulacija)**, zahvaljujući mehanizmima koji postoje u simplastu, i u kome se vrši detoksifikacija jona metala kroz: **inaktivaciju** - formiranjem kompleksa između različitih helatnih jedinjenja i metala (GSH - glutation, PC - fitohelatini, MET – metalotionini, OA – organske kiseline, šećeri), i/ili **kompartmentalizacijom** u vakuoli i drugim ćelijskim organelama (hloroplasti, mitohondrije, Golđi kompleks, Endoplazmatični retukulum) i/ili **sekvencioniranjem metala haperonima** (proteini uključeni u unutarćelijski transport metala sve do mesta aktivacije) (Kupper et al., 1999; Himelblau and Amasino, 2000; Tong et al., 2004). Adaptivni odgovori biljaka na deficit ili toksičnost hemijskih elemenata obuhvataju promene u ekspresiji gena membranskih transportera koji su odgovorni za usvajanje, efluks, translokaciju i sekvencioniranje esencijalnih i ne-esencijalnih elemenata u biljkama (Memon and Schröder, 2009).

Arsen je ne-esencijalni hemijski element za biljke (Lepp, 1981). Dostupnost, usvajanje i toksičnost **As** u biljkama zavisi od njegove koncentracije u zemljištu, forme As (arsenat i arsenit), vrste biljaka, kao i sadržaja fosfora u zemljištu (Carbonell-Barrachina et al., 1998; Singh and Ma, 2007). As se usvaja korenovima biljaka u vidu arsenata, As (V) i arsenita, As (III). Toksični efekti As su izraženi kroz oksidativni stres, gde generisane reaktivne vrste kiseonika (ROS) reaguju sa lipidima, proteinima, pigmentima i nukleinskim kiselinama dovodeći do peroksidacije lipida, oštećenja plazma membrane, inaktivacije enzima, smanjene funkcije i smrti ćelije (Singh et al., 2006). Tako, As (V) koji je analog fosfatu narušava fosfatni metabolizam, tako što substitutiše za fosfat u reakcijama fosforilacije, uključujući sintezu ATP (Meharg and Hartley-Whitaker, 2002), dok As (III) reaguje sa sulfhidrilnim grupama enzima (Ullrich-Eberius et al., 1989).

Koncentracije As u listovima svih ispitivanih biljaka na K3 i K2 su bile toksične (5 – 20 μg/g, Kabata Pendias and Pendias, 2001), za razliku od kontrolnih staništa (Tabela 99, Slika 63 A). Generalno, biljke se odlikuju relativno malim stepenom akumulacije As u svojim tkivima i organima usled njegove male dostupnosti u zemljištu, ograničenog usvajanja korenom i limitirane translokacije od korena do lista (Wang et al., 2002). Biljke koje rastu na zemljištu kontaminiranim As sadrže visoke koncentracije As u tkivima (De Koe, 1994; Carbonell-Barrachina et al., 1997; Tripathi et al., 2007), što slaže sa našim rezultatima. Međutim, Rovinskiy et al. (1979) su utvrdili nešto manje koncentracije As kod trava koja rastu na zemljištu kontaminiranim As (1.1 – 5.4 μg/g). Manje koncentracije As od naših bile su utvrđene i na deponijama pepela TENT-A u Obrenovcu u listovima *C. epigejos* (2.71 – 2.91 μg/g) i *F. rubra* (2.66 – 2.87 μg/g) (Mitrović et al., 2008).

Veće koncentracije As u korenu i listovima kod svih ispitivanih biljaka na **pasivnim kasetama** deponije pepela TENT-A u Obrenovcu u odnosu na kontrolna staništa se mogu povezati sa toksičnim koncentracijama As u pepelu, kao i visokim DTPA rastvornim frakcijama As. Takođe, veće koncentracije As u korenu svih ispitivanih biljaka na kasetama deponije pepela TENT-A u Obrenovcu mogu biti posledica generalno male količine P u pepelu, a prema Lee et al. (1982) nedostatak P povećava kapacitet korenova biljaka za usvajanje fosfata, što dovodi do povećane sinteze transportnog proteina (Muchhal and Raghothama, 1999), koji je odgovoran za

usvajanje arsenata (As, V). Tako su Wang et al. (2002) pokazali da je pri nedostatku P pojačano usvajanje arsenata za 2.5 puta, ukazujući na povećanu sintezu As-Pi transportera plazma membrane ćelija korena.

Na **kontrolnim staništima** kod svih ispitivanih biljaka **BCF < 1, a TF < 1** (Slika 63 A), što ukazuje na veću količinu As u korenu, a manju u listovima, što je posledica efikasnog delovanja mehanizama sekvencioniranja, kompleksiranja i akumulacije As na nivou korena, čime se smanjuje njegov dalji transport kroz ksilem i visoka koncentracija u listovima.

Rezultati u ovoj studiji su pokazali da su na **pasivnim kasetama** deponije pepela TENT-A u Obrenovcu koncentracije As kod sejanih vrsta ***F. rubra*** **i** ***D. glomerata*** bile veće u korenu nego u listovima (**TF < 1**) (Slika 63 A), što ukazuje da se veća količina As zadržava u korenu, a manja transportuje do listova. Smatra se da se najveća koncentracija As nalazi u korenovima biljaka, a manja u listovima (Carbonell-Barrachina et al., 1997), što je i bilo u skladu sa našim rezultatima. Porter and Peterson (1977) su kod tolerantnih individua *Agrostis capillaris* zabeležili da se najveća količina As akumulira u korenu, a svega 6-25% se transportuje u listove. Veće količine As u korenu ovih biljaka na kasetama deponije pepela TENT-A u Obrenovcu mogu biti rezultat pojačane sinteze i akumulacije enzima arsenat reduktaze (AR) koja redukuje As (V) u As (III). Mattusch et al. (2000) su pokazali da je kod 10 vrsta zeljastih biljaka, As prisutan kao As (III) i da se biljke štite od oksidativne fosforilacije tako što redukuju i akumuliraju As kao arsenit.

Međutim, na **pasivnim kasetama** deponije pepela TENT-A u Obrenovcu koncentracije As kod spontano kolonizovanih vrsta ***C. epigejos*** **i** ***O. biennis*** su bile veće u listovima nego u korenu (**TF > 1**) (Slika 63 A), što može da ukaže na efikasan transport As iz korena u list i njegovu akumulaciju u listu. Slično, Meharg and MacNair (1991) su pokazali da *Holcus lanatus* oko 75% usvojenog As transportuje u listove. U listu je verovatno dominantan mehanizam povećane sinteze i akumulacije fitohelatina (PCs) i GSH, koji sa As formiraju komplekse (PCs – GSH) (Schat et al., 2002; Hartley –Whitaker et al., 2002; Zhao et al., 2003). Smatra se da za efikasnu detoksifikaciju odnos PCs-SH – As treba da bude 3 : 1 (Schmöger et al., 2000).

Takođe, rezultati u ovoj studiji su pokazali da su koncentracije **As u listovima** svih ispitivanih biljaka na deponiji pepela TENT-A u Obrenovcu **bile toksične**, što bi moglo da ukaže da mehanizmi detoksifikacije nisu bili dovoljni efikasni, kako bi sprečili njegovu akumulaciju u listovima i potencijalno negativne efekte na funkcionisanje biljaka. Prema Zhao et al. (2003) još uvek nije dokazano da li se kompleks PCs-As razlaže u vakuoli i da li neorganski As kao produkt razlaganja izlazi iz vakuole, zbog čega se i njegova akumulacija u listovima povećava.

Na **kontrolnim staništima**, koncentracije As u korenovima se nisu značajno razlikovale između biljaka, dok su u listovima *C. epigejos* i *F. rubra* bile veće u odnosu na *D. glomerata* i *O. biennis* (Slika 63 B). Na **pasivnim kasetama** deponije pepela TENT-A u Obrenovcu sejane vrste *D. glomerata* i *F. rubra* se odlikuju najvećom akumulacijom As u korenu, dok se spontano kolonizovana *O. biennis* karakteriše najvećom akumulacijom As u listu (Slika 63 B). Razlike između biljaka u koncentracijama As u korenu i listovima se mogu objasniti njihovim mehanizmima usvajanja i tolerancije na As.

Bor je esencijalni hemijski element za biljke (Marschner, 1995) koji ima primarnu ulogu u biosintezi i strukturi ćelijskog zida (vezivanje borat-diola za molekule ramnogalakturona II, RG-II), lignifikaciji, održavanju integriteta plazma membrane, metabolizmu i transportu šećera, metabolizmu fenolnih jedinjenja, kao i metabolizmu RNA (Marschner, 1995; Kobayashi et al., 1996; O`Neill et al., 2004). Primarni **efekti deficita B** su izraženi kroz promenu strukture ćelijskog zida, pojačanu sintezu enzima polifenol oksidaze (PPO) koja dovodi do stvaranja kinona i ROS, kao i oštećenja membrane ćelija (Marschner, 1995). **Toksični efekti B** su najviše izraženi kroz vezivanje B za ribozne delove molekula ATP, NADH, NADPH ili RNA, čime se narušavaju osnovni metabolički procesi (Reid et al., 2004). Prema Takano et al. (2008) u uslovima **deficita**, B se efikasno usvaja uz pomoć NIP5 transportera (pripada MIP familiji proteina – Major Intrinsic Protein). Eksport B u ksilem je omogućeno pomoću BOR1 transportnog proteina u uslovima deficita, dok su BOR2 i BOR4 transportni proteini koji vrše eksport B u ksilem u uslovima toksičnosti (Takano et al., 2005).

Koncentracije B u listovima *C. epigejos* su na K3 i K2 bile u normalnom opsegu, a na K_{Ko} u deficitu (Kabata Pendias and Pendias, 2001) (Tabela 99, Slika 64 A). Koncentracije B u listovima *F. rubra* i *D. glomerata* su na K3 su bile toksične (50 - 200

μg/g, Kabata Pendias and Pendias, 2001), na K2 (*F. rubra*) su bile u normalnom opsegu, a na kontrolnim staništima u deficitu (5 – 30 μg/g) (Tabela 99, Slika 64 A). Koncentracije B u listovima *O. biennis* su na K3 i K2 bile toksične, a na K_{Bk} u normalnom opsegu za biljke (Tabela 99, Slika 64 A). Biljke se odlikuju relativno visokim stepenom akumulacije B u svojim tkivima i organima (Kabata-Pendias and Pendias, 2001). Međutim, količina B u bijkama značajno varira između vrsta (Nable et al., 1997; Marschner, 1995). Generalno, **dikotile** usvajaju veće količine B iz zemljišta i imaju veće zahteve za B nego **monokotile** (Marschner, 1995; Kabata-Pendias and Pendias, 2001), što su i rezultati u ovoj studiji potvrdili. Tako su kod *O. biennis* na kontrolnom staništu, kao i na pasivnim kasetama deponije pepela TENT-A u Obrenovcu bile izmerene veće koncentracije B u korenu, a naročito u listovima u odnosu na monokotile, kao što su *C. epigejos*, *F. rubra* i *D. glomerata*. Razlike između ovih glavnih grupa biljaka se mogu objasniti razlikama u sastavu njihovog ćelijskog zida. Kod monokotila ćelijski zid sadrži manje pektinskih jedinjenja, dok dikotile imaju imaju veću količinu jedinjenja sa *cis*-diol konfiguracijom u ćelijskim zidovima, kao što su pektinske substance i poligalakturoni (Loomis and Durst, 1992). Prema Kabata-Pendias and Pendias (2001) prosečna koncentracija B kod trava je 5.7 μg/g, a kod *Medicago* sp. i *Trifolium* sp. oko 37 μg/g i taj odnos B između dikotila i monokotila je 6.5, a može da bude i manji.

Rezultati u ovoj studiji su pokazali da su **koncentracije B u korenu i listovima** svih ispitivanih biljaka bile **veće na pasivnim kasetama** deponije pepela TENT-A u Obrenovcu nego na kontrolnim staništima, što se može povezati sa visokim ukupnim (na K3, koncentracije B su bile toksične) i DTPA – dostupnim frakcijama B na K3 i K2. Prema Leal et al. (1972) akumulacija B u korenovima, takođe može da bude rezultat visokih koncentracija Fe u zemljištu.

Na **kontrolnim staništima** kod svih ispitivanih biljaka, **BCF > 1** (Slika 64 A), što ukazuje da se B akumulira u korenu, verovatno usled pojačane sinteze NIP5 transportera koji u uslovima deficita omogućavaju unos B u ćelije korena (Takano et al., 2008). Kod ***C. epigejos*** **i** ***O. biennis*** na kontrolnim staništima **TF > 1** (Slika 64 A), što znači da se u njihovim listovima nalazi veća količina B nego u korenu, odnosno verovatno je intezivnija sinteza BOR1 transportera pomoću koga se vrši eksport B u ksilem (Takano et al., 2005). Međutim, kod ***F. rubra*** **i** ***D. glomerata*** **TF < 1** (Slika 64

A), odnosno kod ovih biljaka je veća količina B akumulirana u korenu nego u listu, te je moguća intezivnija sinteteza NIP5 transportera.

Rezultati u ovoj studiji su pokazali da je kod svih ispitivanih biljaka na **pasivnim kasetama** deponije pepela TENT-A u Obrenovcu **BCF < 1**, a da je **TF > 1** (Slika 64 A), što ukazuje da se veća količina B akumulira u listovima nego u korenu. Koncentracije B u listovima ispitivanih biljaka su bile toksične, izuzev kod *C. epigejos*. Značajno velika količina B u listu je bila izmerena kod *O. biennis* (201.08 μg/g na K3 i 201.59 μg/g na K2). Visoke koncentracije B u listovima *F. rubra*, *D. glomerata*, a naročito kod *O. biennis* mogle bi da ukažu na efikasno delovanje BOR2 i BOR4 transportera u korenu, koji eksportuju visoke koncentracije B u listove, a koji se vezuju za prisustvo toksičnih koncentracija B u zemljištu (Takano et al., 2005). Koncetracije B koje su toksične za biljke se razlikuju između vrsta (Marschner, 1995; Kabata-Pendias and Pendias, 2001). Tako su koncentracije B od 80 μg/g bile toksične kod *Hordeum vulgare* i *Triticum aestivum* (Nable, 1988), dok su se kod *Medicago* sp. one kretale od 283-333 μg/g (Kabata-Pendias and Pendias, 2001), što je bilo slično našim rezultatima. Međutim, znatno veće koncentracije B od dobijenih u ovoj studiji bile su zabeležene kod *Lolium perenne* na deponiji pepela (430 μg/g, Kabata-Pendias and Wiacek, 1985) i *Helianthus annus* (1130 μg/g, Blamey et al., 1997). Visoke koncentracije B u listovima *Helianthus annus* se mogu objasniti akumulacijom B u ćelijskom soku simplasta (rastvoran pul B), dok je manji deo vezan za ćelijske zidove i predstavlja nerastvoran pul B (WIR – water insoluble residue) (Dannel et al., 2000).

Na **kontrolnim staništima**, koncentracije B su bile najveće u korenu *F. rubra* i *O. biennis*, dok su listovima bile najveće kod *O. biennis* (Slika 64 B). Na **pasivnim kasetama** deponije pepela TENT-A u Obrenovcu koncentracije B su u korenu i listovima ispitivanih biljaka bile najveće kod *O. biennis* (Slika 64 B). Spontano kolonizovana vrsta *O. biennis* se odlikuje najvećom akumulacijom B u korenu i listovima u odnosu na ostale vrste, jer pre svega pripada dikotilama, koje generalno imaju veće zahteve za B, za razliku od monokotila. Vrsta *C. epigejos* se odlikuje najmanjom koncentracijom B u korenu i listovima, što može da ukaže da ova biljka poseduje mehanizme tolerancije na toksične koncentracije B u pepelu.

Bakar je esencijalni hemijski element, neophodan za rast i razvoj biljke, predstavlja kofaktor mnogih metaloproteina i enzima koji su uključeni u transfer elektrona (tranzicioni metal), učestvuje u metabolizmu ćelijskog zida, ugljenih hidrata, lipida i azota, regulaciji oksidativnog stresa i biogenezi molibden kofaktora (Marschner, 1995; Yruela, 2005). Tako su joni Cu kofaktori brojnih enzima, kao što su: Cu/Zn superoksid dismutaza (SOD), askorbat oksidaza, citohrom *c* oksidaza, plastocijani, poliamin i polifenol oksidaza. Niske koncentracije Cu narušavaju proces fotosinteze, tako što dovode do dezintegracije membrana tilakoida hloroplasta, smanjenja biosinteze plastocijana, količine hlorofila i karotenoida, kao i smanjenja sadržaja nezasićenih masnih kiselina, zbog čega unutarćelijska koncentracija Cu mora biti strogo kotrolisana i regulisana (Yruela, 2005). Cu homeostaza u ćeliji je regulisana mehanizmima koji su sa jedne strane sposobni da održe količinu koja je optimalna za odvijanje ćelijskih procesa, a sa druge strane mogu da zaštite ćelije od negativnih efekata nedostatka Cu u biljkama.

Koncentracije Cu u listovima svih ispitivanih biljaka na kontrolnim staništima, kao i kod *O. biennis* na K3 i K2 su bile u normalnom opsegu za biljke (5 – 30 μg/g, Kabata Pendias and Pendias, 2001), dok su kod *C. epigejos*, *F. rubra* i *D. glomerata* na pasivnim kasetama deponije pepela bile na granici deficita (Tabela 99, Slika 65 A). Većina biljaka Cu uglavnom akumulira u korenu, dok njegova količina u listovima može značajno da varira između vrsta (Ernst, 2000; Lou et al., 2004). Prema Kabata-Pendias and Pendias (2001) količina Cu u nadzemnim delovima biljaka koje rastu na ne - kontaminiranim staništima obično ne prelazi 20 μg/g. Slično našim rezultatima, isti autori navode da se kod trava prosečne koncentracije Cu kreću od 4.3 – 10.5 μg/g, a kod *Trifolium* sp. od 6.5 – 16.2 μg/g. Međutim, koncentracije Cu u korenu i listovima biljaka koje rastu na kontaminiranim staništima, mogu da budu mnogo veće, što se nije podudaralo sa rezultatima dobijenim u ovoj studiji. Tako su koncentracije Cu u korenu i listovima biljaka na deponiji pepela TENT-A u Obrenovcu bile znatno manje u odnosu na koren i listove *Taraxacum* sp. (22 – 199 μg/g; 73 – 274 μg/g) i listove trava (20 – 70 μg/g) (Kabata-Pendias and Pendias, 2001).

Sadržaj Cu u korenu spontano kolonizovanih vrsta *C. epigejos* i *O. biennis* je na **pasivnim kasetama** deponije pepela TENT-A u Obrenovcu bio **manji**, a kod sejanih vrsta *F. rubra* i *D. glomerata* **veći** nego na kontrolnim staništima. U **listovima**

ispitivanih biljaka na K3 i K2, sadržaj Cu je bio manji u odnosu na kontrolna staništa, izuzev kod *O. biennis*. Ukupan sadržaj Cu na pasivnim kasetama deponije pepela TENT-A u Obrenovcu, kao i na kontrolnim staništima je bio **toksičan**. Međutim, DTPA rastvorne frakcije Cu su bile manje na K3 i K2 u odnosu na kontrolna staništa, te su i koncentracije Cu u korenu i listovima biljaka bile uglavnom **manje na deponiji pepela** u odnosu na **kontrolna staništa.** Niske koncentracije Cu u biljkama koje rastu na deponiji pepela TENT-A u Obrenovcu mogu biti i rezultat antagonizma između Cu – Fe i Cu – Al, te veća količina ovih elemenata u pepelu može generalno da dovede do smanjenog unosa Cu u ćelije korena ispitivanih biljaka (Kabata – Pendias and Pendias, 2001).

Na **kontrolnim staništima** kod svih biljaka, kao i kod ***C. epigejos*** **i** ***O. biennis*** na **pasivnim kasetama** deponije pepela TENT-A u Obrenovcu, **BCF < 1**, a **TF > 1** (Slika 65 A), što ukazuje da se veća koncentracija Cu nalazi u listovima nego u korenu. Slično našim rezultatima, veća akumulacija Cu u listovima bila je zabeležena kod *Chenopodium ambrosioides* i *Datura stramonium* (Boojar and Goodarzi, 2007), kao i kod *Paspalum distichum* (Brun et al., 2001; Shu et al., 2002) i *Bosea cypria* (Johansson et al., 2005). Veća količina Cu u listovima ispitivanih biljaka u odnosu na koren može biti rezultat vezivanja Cu za slobodne amino kiseline (nikotinamin i histidin), GSH, organske kiseline, fitohelatine i metalotionine u korenu i njegovim efikasnim transportom u listove (Qian et al., 2005).

Međutim, kod ***F. rubra*** **i** ***D. glomerata*** **na pasivnim kasetama** deponije pepela TENT-A u Obrenovcu, **BCF < 1**, a **TF < 1** (Slika 65 A), što ukazuje da ove vrste imaju veće koncentracije Cu u korenu, nego u listu. Slični rezultati bili su dobijeni kod *Cynodon dactylon* (Shu et al., 2002), *Pistacia terebinthus* i *Cistus creticus* (Johansson et al., 2005). Veća količina Cu u korenu ispitivanih biljaka se može objasniti jačim kapacitetom vezivanja Cu za ćelijski zid korena (60-93%), čime se smanjuje njegov dalji transport do listova (Lou et al., 2004).

Rezultati u ovoj studiji su pokazali da samo *O. biennis* na pasivnim kasetama i kontrolnim staništima, obezbeđuje **dovoljno veliku količinu Cu u listovima** za normalno odvijanje metaboličkih procesa. Ostale ispitivane biljke se odlikuju niskim nivoima Cu u listovima. Naime, različite biljne vrste su sposobne da usvajaju, transportuju i sekvencioniraju različite količine Cu u korenovima ili listovima, te prema

Lolkema and Vooijs (1986) mehanizmi usvajanja, translokacije i subćelijske distribucije u citoplazmi ćelije imaju ključnu ulogu u toleranciji biljaka na Cu. Vrsta *O. biennis* na deponiji pepela TENT-A u Obrenovcu se verovatno odlikuje efikasnom regulacijom, sintezom i aktivacijom različitih transportera i haperona u sekvencioniranju i unutarćelijskom transportu Cu koji održavaju Cu homeostazu, kao što su HMA P tip ATPase: HMA6 / PAA1 koji transportuje Cu do membrana hloroplasta, HMA8 / PAA2 protein koji transportuje Cu preko membrane tilakoida do plastocijana (PC), haperon CCs koji isporučuje Cu do hloroplasta i insertuje ga na aktivno mesto Cu/Zn SOD (Puig et al., 2007). Kod ostalih ispitivanih biljaka koje rastu na pasivnim kasetama deponije pepela TENT-A u Obrenovcu održavanje Cu homeostaze je na granici deficita.

Na **kontrolnim staništima**, koncentracije Cu u korenovima i listovima *F. rubra* i *D. glomerata* su bile veće u odnosu *C. epigejos* i *O. biennis* (Slika 65 B). Na **pasivnim kasetama** deponije pepela TENT-A u Obrenovcu rezultati su pokazali da sejane vrste *D. glomerata* i *F. rubra* imaju najveću akumulaciju Cu u korenu (Slika 65 B), što može da ukaže na efikasan mehanizam usvajanja, a ograničen kapacitet translokacije Cu iz korena u list. Spontano kolonizovana vrsta *O. biennis* se odlikuje većom akumulacijom Cu u listu u odnosu na ostale vrste (Slika 65 B), što može da ukaže da ova biljka poseduje najefikasnije mehanizme održavanja optimalanog nivoa Cu u ćelijama.

Mangan je esencijalan hemijski element za biljke, ima važnu ulogu u redoks procesima i kofaktor je mnogih enzima (Burnell, 1988; Marschner, 1995). Tako, Mn ulazi u sastav Mn-superoksid dismutaze (MnSOD), katalaze, piruvat karboksilaze i dehidrogenaze u Krebsovom ciklusu, glikosiltransferaza u Golđi kompleksu, kao i fenilalanin amonium-liaze (PAL) koji predstavlja ključni enzim u metabolizmu fenola i katalizira deaminaciju fenilalanina do cinamične kiseline, substrata u biosintezi lignina (Burnell, 1988; Dučić and Polle, 2005). Mn izgrađuje katalički centar kompleksa za fotolizu vode (WSE – water splitting enzyme) u PSII (Barry et al., 2006). Takođe, Mn učestvuje u asimilaciji nitrata, biosintezi hlorofila, karotena, askorbinske kiseline, riboflavina, aktivira enzime biosinteze lipida i katalizira uklanjanje $O_2^{\cdot -}$ i H_2O_2 (Dučić and Polle, 2005). **Deficit Mn** se javlja kod biljaka koja rastu na zemljištu alkalne rekacije (Caillatte et al., 2010) i najčešće dovodi do smanjenja neto fotosinteze i količine hlorofila, redukovane MnSOD aktivnosti, velike osetljivosti na peroksidni

stres, kao i povećane transpiracije usled redukcije epikutikularnih slojeva voska (Hebbern et al., 2009).

Koncentracije Mn u listovima biljaka na kontrolnim staništima su bile u normalnom opsegu, dok su na deponiji pepela TENT-A u Obrenovcu u listovima *C. epigejos*, *F. rubra*, *D. glomerata* i *O. biennis* bile u deficitu, izuzev kod *F. rubra* na K3 (10 – 30 μg/g, Kabata Pendias and Pendias, 2001) (Tabela 99, Slika 66 A). Generalno, biljke iz zemljišta korenom lako usvajaju Mn i transportuju ga u listove (Kabata Pendias and Pendias, 2001). Slične koncentracije Mn u listovima bile su utvrđene kod trava (17 – 334 μg/g) i *Trifolium* sp. (25 – 119 μg/g) (Kabata Pendias and Pendias, 2001).

Sadržaj Mn u biljkama direktno zavisi od rastvorene količine u zemljištu (Kabata Pendias and Pendias, 2001). Tako su rezultati u ovoj studiji pokazali da su koncentracije Mn u korenovima i listovima ispitivanih biljaka **na pasivnim kasetama** deponije pepela TENT-A u Obrenovcu bile **manje** u odnosu na kontrolna staništa, što se može povezati sa značajno manjom ukupnom i DTPA rastvornom količinom Mn u pepelu kaseta. Niske koncentracije Mn u korenovima i listovima ispitivanih biljaka na K3 i K2 mogu takođe biti posledica antagonističkih reakcija između Mn – Fe (Kabata Pendias and Pendias, 2001).

Na **kontrolnim staništima** kod svih ispitivanih biljaka, **BCF < 1**, a **TF > 1** (Slika 66 A), što ukazuje da se Mn lako transportuje iz korenova u listove i da je njegova količina u listovima veća nego u korenu. Ove biljke rastu u uslovima **normalnog** (K_{Bb}, K_{Ko}) ili **toksičnog** nivoa ukupnog Mn u zemljištu (K_{Bk}), te su aktivirani adekvatni mehanizmi usvajanja, unutarćelijskog transporta, akumulacije i sekvencioniranja Mn u organelama (ECA1 – transportuje Mn u Endoplazmatični retukulum; MTM1 – transportuju Mn do MnSOD; CAX2, ShMTP1, ABC – transportuju i akumuliraju Mn u vakuoli), čime se održava homeostaza Mn i obezbeđuje njegova optimalna količina za odvijanje metaboličkih procesa (Wu et al., 2002; Luk et al., 2003; Shigaki et al., 2003). Tako su Pedas et al. (2005) utvrdili da genotip *Hordeum vulgare* L. koji ima veći afinitet usvajanja Mn poseduje snažniji kapacitet vezivanja Mn u vakuoli ćelija listova (55-75%) nego genotip koji ima manji afinitet usvajanja Mn.

Na **pasivnim kasetama** deponije pepela TENT-A u Obrenovcu kod svih ispitivanih biljaka **BCF < 1** (Slika 66 A). Kod *C. epigejos* i *O. biennis* (K3 i K2), kao i kod *F. rubra* (K3) **TF > 1 (**Slika 66 A), što ukazuje da ove vrste akumuliraju značajnu količinu

Mn u listovima. Međutim, kod *D. glomerata* na K3 i *F. rubra* na K2, **TF < 1** (Slika 66 A), te je količina bila značajno veća u korenu nego u listovima. Biljke na deponiji pepela rastu u uslovima **deficita Mn**, te su aktivirani drugačiji mehanizmi usvajanja (ZIP3-ZIP7; NRAMP1; OsNRAMP5), unutarćelijskog transporta i akumulacije u korenovima i listovima (NRAMP3 / NRAMP4 – transportuju Mn u vakuolu mezofilnih ćelija; ECA3; MTM1; ABC transporteri) (Lanquar et al., 2010). Usled nedovoljnog snabdevanja Mn, njegova koncentracija u listovima ispitivanih biljaka je bila generalno u deficitu. Vrste *C. epigejos*, *F. rubra* i *O. biennis* transportuju i akumuliraju Mn u listovima, što bi se moglo objasniti efikasnom aktivacijom proteina OsNRAMP5, za koji je utvrđeno da je u uslovima deficita odgovaran za akumulaciju Mn u listovima (Sasaki et et al., 2012). Međutim, kod *D. glomerata* veća količina Mn u korenu bi se mogla objasniti većim kapacitetom vezivanja Mn za ćelijske zidove korena. Isto tako je i pokazano da u uslovima deficita Mn, genotip *Hordeum vulgare* L. koji ima manji afinitet usvajanja Mn, 2-3 puta više vezuje Mn za ćelijske zidove i akumulira oko 83% Mn u vakuoli korena (Pedas et al., 2005). Takođe, manja količina Mn u listovima može da bude i posledica smanjenog kapaciteta usvajanja Mn korenom preko NRAMP1 proteina i smanjenog transporta u listove preko OsNRAMP5 (Sasaki et al., 2012).

Na **kontrolnim staništima**, koncentracije Mn su u korenu ***O. biennis*** bile najmanje, dok su u listovima te koncentracije bile najveće kod *D. glomerata* (Slika 66 B) Rezultati su pokazali da u uslovima deficita Mn u pepelu, *F. rubra* i *D. glomerata* imaju najveće koncentracije u korenu, a vrste *F. rubra* i *O. biennis* najveće koncentracije u listovima (Slika 66 B). Razlike između biljaka mogle bi da ukažu na potencijalno ključnu ulogu OsNRAMP proteina u regulaciji transporta Mn iz korena u list.

Molibden je esencijalni hemijski element za rast biljaka (Marschner, 1995; Mendel and Bittner, 2006). Mo se iz zemljišnog rastvora lako usvaja u vidu molibdat jona (MoO_4^{2-}, Mo, VI). Količine Mo koje su potrebne biljkama veoma su male, ali su esencijalne za redoks reakcije C, N i S (Hille, 1996; Mendel, 2011). Mo postaje aktivan u ćeliji tek kada se formira katalički aktivno mesto Mo-enzima (Moco): nitrat reduktaze (NR), sulfit oksidaze (SO), aldehid oksidaze (AO), ksantin dehidrogenaze (XDH) i mitohondrijalna amidoksim reduktaze (mARC) (Mendel and Bittner; 2006; Mendel, 2011). **Moco (molibden kofaktor)** predstavlja katalički aktivno mesto enzima, koji nastaje insertovanjem Mo u metal-vezujuće jedinjenje pterin (MPT). Smatra se da je

određena količina Moco esencijalna za održavanje homeostaze Mo u ćeliji (Mendel and Bittner, 2006). Međutim, redukovana sinteza MTP ili blokirana biosinteza Moco dovodi do gubitka metaboličke funkcije, jer svi enzimi koji zavise od Mo gube svoju aktivnost, što neminovno dovodi do smrti biljke (Mendel, 2007).

Koncentracije Mo u listovima biljaka na svim ispitivanim staništima su bile u normalnom opsegu za biljke (0.2 – 5.0 μg/g, Kabata Pendias and Pendias, 2001), (Tabela 99, Slika 67 A). Generalno, Mo je umereno mobilan u biljkama (Kabata-Pendias and Pendias, 2001). U ksilemu i floemu može biti transportovan kao slobodan jon u vidu MoO_4^{2-} (Marschner, 1995) ili vezan za Mo – S kompleks amino kiselina (Tiffin, 1972). Koncentracije Mo u tkivima biljaka variraju u zavisnosti od zahteva biljaka. Prema Kabata - Pendias and Pendias (2001) prosečna koncentracija Mo kod trava se kreće od 0.33 – 1.5 μg/g, a kod leguminoza od 0.73 – 2.3 μg/g, što se podudaralo sa dobijenim koncentracijama Mo u listovima biljaka sa kontrolnih staništa. Međutim, u oblastima gde je kod životinja zabeležena toksična koncentracija Mo, njegov sadržaj kod trava se kreće od 1.5 – 5.0 μg/, a kod leguminoza od 5.2 – 26.6 μg/g (Kabata - Pendias and Pendias, 2001). Slične koncentracije Mo bile su izmerene u listovima ispitivanih biljaka koje rastu na deponiji pepela TENT – A u Obrenovcu.

Sadržaj Mo u biljkama direktno zavisi od rastvorene količine i pH vrednosti zemljišta (Kabata-Pendias and Pendias, 2001). Tako su rezultati u ovoj studiji pokazali da su koncentracije Mo u korenu i listovima ispitivanih biljaka **na deponiji pepela** TENT-A u Obrenovcu bile **veće** u odnosu na kontrolna staništa, što se može povezati sa značajno većom ukupnom i DTPA rastvornom količinom Mo u pepelu deponija. Doyle et al. (1973) su zabeležili velike količine Mo u biljkama koje rastu na neutralnom i slabo alkalnom zemljištu, dok su te koncentracije kod istih biljaka na kiselom zemljištu ili zemljištu sa manjom količinom Mo bile drastično manje, što su i rezultati u ovoj studiji potvrdili.

Na **kontrolnim staništima** kod svih ispitivanih biljaka **BCF < 1**. Kod ***C. epigejos*, *D. glomerata*** **i** ***O. biennis*** **TF > 1** (Slika 67 A), što ukazuje na veću količinu Mo u listovima, a manju u korenovima. Kod ovih biljaka Mo se efikasno transportuje u listove, što bi se potencijalno moglo da objasniti prisustvom MOT1 i MOT2 sulfatnih transportera kojima bi se Mo mogao efikasno usvajati i transportovati iz korena u listove (Fitzpatrick et al., 2008). Međutim, kod ***F. rubra*** **TF < 1 (**Slika 67 A**)**, što znači

da je bila veća količina Mo u korenu nego u listovima. Manja količina Mo u listovima bi se mogla objasniti i slabijom aktivacijom MOT2 transportera. Prema Gasber et al. (2011) MOT2 mutanti *A. thaliana* pokazuju narušenu alokaciju Mo između korena i lista.

Na **pasivnim kasetama** deponije pepela TENT-A u Obrenovcu kod ***C. epigejos*, *F. rubra* i *D. glomerata*** na K3 i K2, kao i ***O. biennis*** na K3, **BCF < 1** (Slika 67 A). Međutim, kod ***O. biennis*** na K2, **BCF > 1** (Slika 67 A), što znači da ova vrsta zadržava značajnu količinu Mo u korenu. S obzirom na to da je na K2 zabeležena mala količina fosfata, moguće je da se povećana količina Mo u korenovima *O. biennis* može objasniti njegovim usvajanjem preko fosfatnog transportera, što podržava hipotezu Heuwinkel et al. (1992) i Ide et al. (2011) prema kojima se u uslovima deficita fosfata, Mo usvaja preko fosfatnog transportera smeštenog u plazma membrani ćelija korena. Kod svih ispitivanih biljaka, **TF > 1 (**Slika 67 A**)**, što znači da ove vrste imaju veću količinu Mo u listovima nego u korenovima, što bi moglo da ukaže na moguće prisustvo MOT1 i MOT2 transportera za koje je utvrđeno da imaju esencijalnu ulogu u unutarćelijskom transportu i alokaciji Mo između korena i lista kod biljaka (Tejada - Jimenez et al., 2009).

Generalno, rezultati u ovoj studiji su pokazali da su koncentracije Mo u listovima svih ispitivanih biljaka na deponiji pepela TENT-A u Obrenovcu, kao i na kontrolnim staništima**, optimalne za normalno funkcionisanje**. Prema Gasber et al. (2011) količina Mo u listovima je korelisana sa ukupnom koncentracijom Moco i njegovim prekursorom MPT, što može da ukaže na efikasnu regulaciju i aktivaciju svih Mo-enzima.

Na kontrolnim staništima, koncentracije Mo su korenu bile najveće kod *F. rubra*, dok su u listovima bile najveće kod *D. glomerata* (Slika 67 B). Koncentracije Mo u korenu i listovima ispitivanih biljaka na **deponiji pepela** TENT-A u Obrenovcu su bile najveće kod *O. biennis* i *F. rubra* (Slika 67 B). Generalno, rezultati su pokazali da se *O. biennis* odlikuje najvećim koncentracijama Mo u korenu i listovima, dok su te koncentracije u korenovima i listovima *C. epigejos* bile najmanje u odnosu na ostale vrste. Razlike između biljaka mogle bi da ukažu na potencijalno različite mehanizme usvajanja, transporta i akumulacije Mo, kao i na različite potrebe biljaka za Mo.

Selen je hemijski element za koji je utvrđeno da nije esencijalan za biljke (Marschner, 1995). Međutim, pri niskim koncentracijama ima beneficijalan efekat, a pri visokim koncentracijama može da bude toksičan za biljke (Germ et al., 2007b). Prema Hamilton (2004) Se ima tri nivoa biološke aktivnosti: 1) niske koncentracije koje imaju pozitivan efekat na normalan rast i razvoj; 2) umerene koncentracije koje su potrebne za održavanje homeostaze; 3) visoke koncentracije koje rezultiraju toksičnim efektima. Prvi pozitivan efekat Se (selenita) na rast biljaka zabeležen je kod *Brassica juncea* (Singh et al., 1980). Kasnija istraživanja su pokazala da niske koncentracije Se mogu da stimulišu rast korenova i listova, kao i da povećavaju antioksidativni kapacitet kod monokotila (*Lolium perenne*) i dikotila (*Glycine max*, *Lactuca* sp., *Oryza* sp.) (Peng et al., 2002; Hasanuzzaman et al., 2010). Utvrđeno je da Se (selenat) može da poveća toleranciju biljaka na sušu, visok salinitet, UV radijaciju, teške metale, tako što utiče na povećanje sinteze enzima koji su uključeni u smanjivanje količine ROS, kao što su SOD (superoksid dismutaza), POD (peroksidaze), APX (askorbat peroksidaze), GPX (glutation peroksidaze), GR (glutation reduktaze), CAT (katalaze), GSH (glutation), AsA (askorbinska kiselina) i Carot (karotenoidi) (Hasanuzzaman et al., 2010). **Toksičnost Se** može da smanji ukupan pul S, što utiče na smanjenu sintezu sekundarnih S metabolita (ne-proteinski tioli). Takođe, Se kompetira sa S za biohemijsku funkciju proteina, Fe-S klastera i utiče na povećanu produkciju ROS. Prema Terry et al. (2000) toksičnost Se se ispoljava kada dolazi do ne-specifične zamene esencijalnih S amino kiselina, cisteina i metionina njihovim Se analozima (selenocistein, SeCys i selenometionin, SeMet) u proteinima, čime se narušava njihova stabilnost i funkcionalna aktivnost.

Koncentracije Se u listovima svih biljaka na kontrolnim staništima, kao i kod *F. rubra* na K3 i K2 su bile u normalnom opsegu (0.01 – 2.0 μg/g, Kabata Pendias and Pendias, 2001) (Tabela 99, Slika 68 A). Međutim, kod *C. epigejos*, *D. glomerata* i *O. biennis* na K3 i K2 su bile između normalnih i toksičnih vrednosti (5 – 30 μg/g) (Tabela 99, Slika 68). Generalno, biljke se razlikuju po svojoj sposobnosti da usvajaju, akumuliraju i tolerišu Se (Terry et al., 2000; Kabata – Pendias and Pendias, 2001). Većina trava i poljoprivrednih kultura kada rastu na zemljištu obogaćenim Se sadrže u svojim tkivima < 25 μg/g Se i svrstavaju se u ne-akumulatore (Terry et al., 2000). Iako su ove biljke osetljive na visoke koncentracije Se, mogu da koncentrišu Se bez redukcije

rasta (Brown and Shrift, 1982; Rani et al., 2005). Kritične toksične koncentracije Se značajno variraju između vrsta, te kod *Brassica juncea* iznose 105 μg/g, kod *Zea mays* 77 μg/g, *Oryza sativa* 42 μg/g i *Triticum* sp. 19 μg/g (Rani et al., 2005). Izmerene koncentracije Se u listovima ispitivanih vrsta na svim staništima su bile znatno manje u odnosu na gore pomenute. Prema Kabata – Pendias and Pendias (2001) koncentracije Se se kod trava kreću od 2 – 174 μg/g. Rezultati u ovom radu su pokazali da su koncentracije Se u listovima *C. epigejos, F. rubra* i *D. glomerata* na kontrolnim staništima bile manje od navedenih, dok su na deponiji pepela bile u okviru pomenutog opsega za trave.

Međutim, toksične koncentracije Se zavise i od njegove forme, odnosno prisustva selenata (SeO_4^{2-}) i/ili selenita (SeO_3^{2-}) (Terry et al., 2000). Smatra se da je selenit toksičniji od selenata usled njegove brze konverzije do Se amino kiselina (Zayed et al., 1998). Međutim, drugi autori navode da je selenat toksičniji od selenita, jer je njegovo usvajanje mnogo brže od selenita (Wu et al., 1988; Pilon-Smits et al., 1999), te prema De Souza et al. (1998) ukupna akumulacija Se u vidu selenata je 10 puta veća od selenita. Sadržaj Se u biljkama direktno zavisi od njegove ukupne i rastvorene količine, kao i od pH vrednosti zemljišta (Kabata-Pendias and Pendias, 2001). Tako se smatra da je selenat dominantna forma u alkalnim sredinama, dok su selenit i selenid dominantne forme Se u neutralnoj ili kiseloj sredini (Kabata – Pendias and Pendias, 2001). Rezultati u ovoj studiji su pokazali da su koncentracije Se u korenu i listovima ispitivanih biljaka koje rastu **na deponiji pepela** TENT-A u Obrenovcu bile **veće** u odnosu na kontrolna staništa, što se može povezati sa značajno većom ukupnom i DTPA rastvornom količinom Se u pepelu deponije.

Na **kontrolnim staništima** kod svih ispitivanih biljaka **BCF > 1**, a **TF <** 1 (Slika 68 A), što ukazuje na značajnu akumulaciju Se u korenovima. Zayed et al. (1998) su pokazali da se odnos list / koren kreće od 0.6 – 1.0 kod biljaka koja se snabdevaju SeMet i ≤ 0.5 kada usvajaju selenit. Rezultati mogu da ukažu da se u korenovima ispitivanih biljaka verovatno više akumulira selenit i SeMet od selenata. Selenit se usvaja preko fosfatnog transportera (Pi) i OsNIP2;1 transportera (Li et al., 2008). Utvrđeno je da se selenit u većoj količini zadržava u korenu, jer se brzo prevodi do SeMe, i da se svega 10% selenita transportuje iz korena u listove (Zayed et al., 1998; De Souza et al., 199; Li et al., 2008). Shrift and Ulrich (1976) su dobili da vrsta *Astragalus*

lentiginosus (ne-akumulator), koja je tretirana selenitom akumulira u korenovima 51% selenita, 23% selenata i 19% SeMet.

Na **pasivnim kasetama** deponije pepela TENT-A u Obrenovcu kod svih ispitivanih biljaka **BCF >** 1 (Slika 68 A), što ukazuje na akumulaciju Se u korenu. Kod *C. epigejos* (K3 i K2), *D. glomerata* (K3) i kod *O. biennis* (K3), **TF > 1** (Slika 68 A), što znači da ove vrste transportuju značajnu količinu Se iz korena u listove. Zayed et al. (1998) su pokazali da se odnos list / koren kreće od 1.4 – 17.2 kada se biljke snabdevaju selenatom, te rezultati dobijeni u ovoj studiji bi mogli da ukažu da je selenat dominantna forma koju ove biljke usvajaju. Selenat se u biljci usvaja preko sulfatnog transportera (SULTR1;2) usled hemijske sličnosti između sulfata i selenata (Terry et al., 2000; Sors et al., 2005). Arvy (1993) je pokazao da je potrebno 3h da se 50% selenata transportuje iz korena u list. Vrsta *F. rubra* (K3 i K2) i *O. biennis* (K2) imaju **TF < 1** (Slika 68 A), te je kod njih veća količina Se u korenu, a manja u listovima, te ove vrste na deponiji pepela verovatno imaju veću tendenciju usvajanja Se u vidu SeMet i selenita.

Na **kontrolnim staništima**, koncentracije Se je u korenu bila najveća kod *O. biennis*, a u listovima kod *F. rubra* (Slika 68 B). Na **deponiji pepela** TENT-A u Obrenovcu koncentracije Se su korenu bile najveće kod *D. glomerata* i *F. rubra*, a u listovima kod *O. biennis* i *C. epigejos* (Slika 68 B). Razlike između biljaka mogle bi da ukažu na različit kapacitet usvajanja, akumulacije i tolerancije Se u korenu i listovima.

Cink predstavlja esencijalni hemijski element za biljke za koji je utvrđeno da deluje kao katalički ili strukturni ko-faktor velikog broja enzima i regulatornih proteina (Marschner, 1995). Zajedno sa Fe, cink je jedini metal koji ulazi u sastav svih šest glavnih klasa enzima: oksidoreduktaza, transferaza, hidrolaza, liaza, izomeraza i ligaza (Broadley, et al., 2007). Tako je Zn neophodna komponenta za enzime, kao što su: karbon anhidraza, alkohol dehidrogenaza, Cu/Zn SOD, alkalna fosfataza, fosfolipaza, karboksipeptidaza, pirofosfataza, RNA i DNA polimeraze (Marschner, 1995). Zn je uključen u metabolizam proteina, nukleinskih kiselina, ugljenih hidrata i lipida (Broadley, et al., 2007; Ishimaru et al., 2011), štiti ćelije biljaka od oksidativnog stresa (Cakmak, 2000) i može da deluje kao unutarćelijski signalni molekul (Yamasaki et al., 2007). **Deficit Zn** se manifestuje povećanom produkcijom ROS usled smanjene aktivnosti Cu/ZnSOD i karbon anhidraze, inhibicije sinteze proteina, oštećenja

membranskih proteina i hlorofila, inhibicije procesa fotosinteze, hloroza listova i smanjenog rasta biljaka (Marschner, 1995; Cakmak, 2000).

Koncentracije Zn u listovima *F. rubra*, *D. glomerata* i *O. biennis* na kontrolnim staništima su bile u normalnom opsegu (20 – 150 μg/g, Kabata Pendias and Pendias, 2001), izuzev kod *C. epigejos* (Tabela 99, Slika 69 A). Međutim, kod svih ispitivanih biljaka na pasivnim kasetama deponije pepela koncentracije Zn su bile u deficitu, izuzev kod *O. biennis* na K2 (10 – 20 μg/g, Kabata - Pendias and Pendias, 2001) (Tabela 99, Slika 69 A). Generalno, Zn je umereno mobilan u biljkama (BAC, Kabata - Pendias and Pendias, 2001). U korenu i listovima može biti transportovan kao slobodan jon u vidu Zn^{2+} ili u vidu kompleksa (Marschner, 1995; Kabata - Pendias and Pendias, 2001). Sadržaj Zn kod trava se kreće od 12 do 47 μg/g, a kod *Trifolim* sp. od 24 do 45 μg/g (Kabata - Pendias and Pendias, 2001), što je bilo slično našim rezultatima.

Koncentracije Zn u biljkama zavise od ukupne i rastvorene DTPA količine u zemljištu (Kabata-Pendias and Pendias, 2001). Tako su rezultati u ovoj studiji pokazali da su koncentracije Zn u korenu i listovima ispitivanih biljaka **na deponiji pepela** TENT-A u Obrenovcu bile **manje** u odnosu na kontrolna staništa, izuzev u korenu kod *C. epigejos* i *O. biennis* na K3, što se može povezati sa značajno manjom ukupnom i DTPA rastvornom količinom Zn u pepelu deponija.

Na **kontrolnim staništima** kod svih ispitivanih biljaka **BCF < 1** (Slika 69 A). Kod *C. epigejos* i *F. rubra* **TF < 1** (Slika 69 A), što ukazuje na veću količinu Zn u korenovima. Generalno, kada biljke rastu pri normalnim ili visokim koncentracijama Zn u zemljištu, koncentracije su veće u korenovima nego u listovima (Kabata Pendias and Pendias, 2001), što bi se moglo objasniti ekspresijom ZIF1 proteina koji dovodi do povećane akumulacije Zn u vakuoli ćelija korena, a njegove smanjene translokacije iz korena u list (Sinclair and Krämer, 2012). Takođe, aktivacija MTP3 proteina smanjuje koncentraciju Zn u listovima (Arrivault et al., 2006). Međutim, kod *D. glomerata* i *O. biennis* na kontrolnom staništu **TF > 1** (Slika 69 A), što ukazuje da se kod njih Zn akumulira u listovima, što bi moglo da bude rezultat aktivacije MTP1 i PCR2 proteina koji povećavaju koncentraciju Zn u listovima, odnosno obezbeđuju efikasan protok Zn iz ćelija korena u listove (Desbrosses-Fonrouge et al., 2005; Song et al., 2010).

Na **pasivnim kasetama** deponije pepela TENT-A u Obrenovcu kod svih ispitivanih biljaka **BCF <** 1, dok je kod svih biljaka **TF < 1**, izuzev kod *O. biennis* na K2 (**TF > 1**) (Slika 69 A). Rezultati ukazuju da se *C. epigejos*, *F. rubra* i *D. glomerata* odlikuju većom količinom Zn u korenovima nego u listovima, a da se jedino na K2 kod *O. biennis* Zn značajno akumulira u listovima. Rezultati su pokazali da u uslovima deficita Zn na K2, ispitivane biljke pokazuju različit odgovor. Tako, *C. epigejos*, *F. rubra* i *D. glomerata* se odlikuju većom količinom Zn u korenu, što može da ukaže na intezivnu biosintezu fitosiderofora, koje kod *Graminae* omogućavaju lakše usvajanje Zn korenom i to u vidu kompleksa Zn sa mugenim kiselinama (Zn – MAs) (Marschner, 1995). Takođe, aktivacija ZIP i MTP8 transportera može da omogući efikasan unos Zn iz zemljišnog rastvora u ćelije korena (van de Mortel., 2006; Bashir et al., 2012). Međutim, transport u listove može da bude smanjen usled redukovane sinteze aktivnih transportera koji obezbeđuju protok Zn iz korena u list (IRT3, OsZIP4, OsZIP5, OsZIP8, HMA2 i HMA4) . Tako je bilo utvrđeno da *hma4* i *hma2hma4* mutantne biljke povećavaju akumulaciju Zn u korenu, a smanjuju njegovu koncentraciju u listovima, što rezultira pojavom deficita Zn u listovima (Hussain et al., 2004). Međutim, *O. biennis* na K2 u uslovima deficita Zn u pepelu obezbeđuje njegovu optimalnu količinu u listovima, što može da ukaže na potencijalno intezivnu sintezu NA (nikotinamina) i značajnu akumulaciju Zn – NA kompleksa u vakuoli lista (Lin and Arts, 2012; Haydon et al., 2012), kao i na ekspresiju OsZIP4, OsZIP5, OsZIP8, HMA2 i HMA4 transportera koji su neophodni za transport, akumulaciju i održavanje homeostaze Zn u listovima (Wong and Cobbett, 2009).

Generalno, koncentracije Zn **u listovima** ispitivanih biljaka na **deponiji pepela** TENT-A u Obrenovcu su bile na **granici deficita**, izuzev kod *O. biennis* na K2, što može da bude rezultat male rastvorne DTPA količine Zn, anatagonizma između Zn i Fe, i nedovoljno efikasnih mehanizama održavanja homeostaze Zn u tkivima biljaka.

Na **kontrolnim staništima**, koncentracije Zn su u korenu bile najveće kod *F. rubra*, a u listovima kod *O. biennis* (Slika 69 B). Rezultati su pokazali da se na **deponiji pepela** TENT-A u Obrenovcu sejana vrsta *F. rubra* odlikuje najvećim koncentracijama Zn u korenu, a spontano kolonizovana vrsta *O. biennis* najvećim koncentracijama Zn u listu (Slika 69 B). Razlike između biljaka mogle bi da ukažu na različit mehanizam usvajanja, transporta i akumulacije Zn u korenu i listovima.

Rezultati dvofaktorske analize su pokazali da na koncentracije As, B, Cu, Mn, Mo, Se i Zn u korenovima, a naročito u listovima kod svih ispitivanih biljaka stanište ima veći uticaj od sezone. U Tabeli 100 su prikazani hemijski elementi u listovima biljaka na svim ispitivanim staništima, na kojoj se uočavaju koji se elementi nalaze u toksičnim koncentracijama, a koji su u deficitu, što daje informacije o tome koji elementi mogu negativno uticati na funkcionisanje biljaka.

Tabela 100. Hemijski elementi u listovima ispitivanih biljaka na kontrolnom staništu i pasivnim kasetama deponije pepela TENT-A u Obrenovcu.

Parametar	*C. epigejos*			*F. rubra*		
	Toksičnost	Deficit	Optimum	Toksičnost	Deficit	Optimum
K_{Ko}, K_{Bb}	/	**B, Zn**	Cu, Mn, Mo Se	/	**B**	Cu, Mn, Mo Se, Zn
K3, K2	**As**	**Mn, Zn** ***Cu (granica)***	B, Mo, Se	**As** **B (K3)**	**Zn** **Mn (K2)** ***Cu (granica)***	Mo, Se Mn (K3)
Parametar	*D. glomerata*			*O. biennis*		
	Toksičnost	Deficit	Optimum	Toksičnost	Deficit	Optimum
K_{Ko}, K_{Bk}	/	**B**	Cu, Mn, Mo Se, Zn	/	/	B, Cu, Mn, Mo, Se, Zn
K3, K2	**As, B**	**Mn, Zn** ***Cu (granica)***	Mo, Se	**As, B**	**Mn** **Zn (K3)**	Cu, Mo, Se Zn (K2)

Sejane vrste *F. rubra* i *D. glomerata* imaju različite mehanizme usvajanja, unutarćelijskog transporta, akumulacije i regulacije homeostaze hemijskih elemenata u korenu i listovima od spontano kolonizovanih vrsta *C. epigejos* i *O. biennis*.

Sejane vrste ***F. rubra*** i ***D. glomerata*** se odlikuju smanjenim kapacitetom transporta As, Cu, Mn i Zn iz korenova u listove (**BCF<1, TF<1**), izuzev Mn kod *F. rubra* (K2). Međutim, kod obe vrste B i Mo se efikasno transportuju iz korena u listove **(BCF<1, TF>1**). Se se kod *F. rubra* akumulira u korenu (**BCF>1, TF<1**), a kod *D. glomerata* u listovima (**BCF>1, TF>1**) (Tabela 101).

Spontano kolonizovane vrste ***C. epigejos*** **i** ***O. biennis*** na deponiji pepela se odlikuju većom količinom As, B, Cu, Mn i Mo u listovima u odnosu na koren (**BCF < 1,** a **TF > 1**). Zn se kod *C. epigejos* na obe pasivne kasete, a kod *O. biennis* samo K3 u manjim količinama transportuje u listove (**BCF<1**, **TF<1**). Se se kod *C. epigejos* na obe pasivne kasete i *O. biennis* na K3 efikasno transportuje u listove (**BCF>1**, **TF>1**), dok se kod *O. biennis* na K2 imobiliše na nivou korena **(BCF>1, TF<1).** Uprkos toksičnim koncentracijama As i B u listovima, a deficitarnih Cu i Mn, ove dve spontano pridošle

vrste dominiraju na K2, ukazujući da su sposobne da tokom vremena aktiviraju adaptivne mehanizme koji im omogućavaju opstanak i toleranciju na stres, zbog čega i poseduju visok potencijal za revitalizaciju pepelišta (Tabela 101).

Tabela 101. Biokoncentracioni (BCF) i translokacioni (TF) faktor ispitivanih biljaka na kontrolnim staništima i pasivnim kasetama deponije pepela TENT-A u Obrenovcu.

Parametar	*C. epigejos*		*F. rubra*	
	K_{Ko}	K3, K2	K_{Bb}	K3, K2
BCF < 1	As, B, Cu, Mn, Mo, Zn	As, B, Cu, Mn, Mo, Zn	As, B, Cu, Mn, Mo, Zn	As, B, Cu, Mn, Mo, Zn
BCF > 1	Se	Se	Se	Se
TF < 1	As, Se, Zn	Zn	As, B, Mo, Se, Zn	As, Cu, Se, Mo, Zn, Mn (K2)
TF > 1	B, Cu, Mn, Mo	As, B, Cu, Mn, Mo, Se	Cu, Mn	B, Mn (K3), Mo
Parametar	*D. glomerata*		*O. biennis*	
	K_{Ko}	K3, K2	K_{Bk}	K3, K2
BCF < 1	As, B, Cu, Mn, Mo, Zn	As, B, Cu, Mn, Mo, Zn	As, B, Cu, Mn, Mo, Zn	As, B, Cu, Mn, Mo (K2), Zn
BCF > 1	Se	Se	Se	Se, Mo (K3)
TF < 1	As, B, Se	As, Cu, Mn, Zn	As, Se	Zn (K3) i Se (K2)
TF > 1	Cu, Mn, Mo, Zn	B, Mo, Se	B, Cu, Mn, Mo, Zn	As, B, Cu, Mn, Mo, Zn (K2) i Se (K3)

6.5. Kinetika fluorescencije hlorofila i sadržaj pigmenata u listovima ispitivanih biljaka

6.5.1. Kinetika fluorescencije hlorofila biljaka

Merenje fluorescencije hlorofila se koristi za tumačenje mehanizama delovanja suše, intezivne svetlosti, temperature, gasovitih polutanata i teških metala koji utiču na funkcionisanje PSII (Öquist and Wass, 1988; Figureoa et al., 1997; Baker and Roseqvist, 2004; Pavlović et al., 2004; Gajić et al., 2007; Gajić et al., 2009; Mitrović et al., 2008; Mitrović et al., 2012). Fotoinhibicija PSII nastaje kao rezultat prekomerne ekscitacije fotosintetičkog aparata i smanjivanje efikasnosti fotosinteze ukazuje na izloženost biljaka stresnim efektima ekoloških faktora na staništu (Long et al., 1994).

Fotoinhibicija PSII na donor mestu se vezuje za disocijaciju LHCPII kompleksa, smanjen protok elektrona preko WSE i Tyr_Z sve do reakcionog centra PSII ($P680^+$), pri čemu dolazi do konformacionih promena D1 proteina i njegove degradacije (Fo), kao i smanjenu termalnu disipaciju ekscitovane energije preko ksantofil ciklusa (Fv) (Mysliwa – Kurdziel et al., 2002; Martinazzo et al., 2012). Fotoinhibicija na akceptor mestu PSII se vezuje za usporen ili blokiran transfer elektrona od Q_A do Q_B (Fm) i smanjenu količinu PQ pula ($t_{1/2}$) (Mysliwa – Kurdziel et al., 2002).

Na **kontrolnim staništima**, vrednosti Fv/Fm i Fm/Fo kod *C. epigejos* i *O. biennis* su bile ispod optimalnog opsega za biljke (0.750 – 0.850 i 5.0 – 6.0, Björkman and Demmig, 1987), dok su kod *F. rubra* i *D. glomerata* vrednosti istih parametara bile optimalne (Slika 89). Na **deponiji pepela** TENT-A u Obrenovcu fotosintetička efikasnost Fv/Fm i odnos Fm/Fo su kod svih ispitivanih biljaka bili ispod optimalnog opsega (Slika 89), što ukazuje na fotoinhibiciju PSII i nižu vitalnost biljaka koja rastu na pepelištu. Slično su Pavlović et al. (2004) pokazali da je kod velikog broja zeljastih biljaka na deponiji pepela TENT- A u Obrenovcu fotosintetička efikasnost bila ispod optimuma i da je gradijent bio sledeći: *Verbascum* sp. (0.620), *Spiraea van-houttei* (0.561), *Ambrosia artemisifolia* (0.559), *Crepis setosa* (0.558), *Eupatorium cannabinum* (0.535), dok su najmanje vitalne bile *Epilobium collinum* (0.472) i *Cirsium arvense* (0.429). Takođe su, Mitrović et al. (2008) slično našim rezultatima utvrdili nižu efikasnost fotosinteze kod *F. rubra* na kaseti staroj 5 godina (0.620) u odnosu na kasetu staru 13 godina (0.689), dok kod *C. epigejos* nije bilo razlika između staništa. Figureoa et al. (1997) su ustanovili da 10 vrsta Mediteranskih trava pokazuje smanjenje fotohemijske efikasnosti, posebno tokom leta sa povećanjem temperature i manjom količinom padavina, te su vrednosti Fv/Fm bile manje od 0.700, sa minimumom od 0.470, što je bilo u skladu sa dobijenim rezultatima. Niska fotosintetička efikasnost kod ispitivanih biljaka koje rastu na deponiji pepela TENT-A u Obrenovcu je rezultat višestrukog stresa na staništu, kao što su visoka temperatura, suša, toksičnost As i B, kao i deficita Cu, Mn i Zn. Čestice pepela deponovane na površini listova biljaka mogu da smanje količinu fotosintetički dostupne radijacije i da povećaju temperaturu lista, što dovodi do smanjene aktivnosti fotosinteze, povećane transpiracije i sušenja listova biljaka (Pavlović et al., 2004).

Utvrđeno je da **visoke temperature** (30-45°C) dovode do smanjivanja efikasnosti fotosinteze (Fv/Fm) kroz povećanje Fo (deaktivacija WSE), a smanjivanje Fm parametara (Martinazzo et al. 2012). Sličan odgovor bio je utvrđen kod ispitivanih biljaka koje rastu na kasetama deponije pepela TENT-A u Obrenovcu, s obzirom na to da je temperatura u letnjem periodu dostizala 45 °C.

Stoeva et al. (2004) su utvrdili da se kod *Zea mays* L. u prisustvu **As** povećava Fo, a smanjuje Fv/Fm, što ukazuje na smanjenu funkcionalnu aktivnost PSII, što se najviše poklapalo sa dobijenim rezultatima kod *O. biennis* na pasivnim kasetama deponije. Međutim, prema Gusman et al. (2013) u prisustvu niskih koncentracija As (V) i As (III) kod *Lactuca sativa* vrednosti Fo i Fv/Fm se nisu značajno menjale, dok je pri visokim koncentracijama As smanjivao transport elektrona (Fm, $t_{1/2}$), što je bilo praćeno povećanjem ne-fotohemijskog gašenja ekscitovane energije (Fv). Sličan odgovor parametara Fo i Fm u prisustvu As zabeležen je kod *C. epigejos, F. rubra* i *D. glomerata* na pasivnim kasetama deponije pepela. Međutim, Milivojević et al. (2006) su kod *Glycine max* zabeležili da čak i najveće koncentracije As ne utiču na fotosintetički transport elektrona i fotohemijsko gašenje ekscitovane energije.

Utvrđeno je da **toksične koncentracije B** smanjuju efikasnost fotosinteze, kroz povećanje Fo vrednosti, redukciju transporta elektrona i povećanja ne-fotohemijskog gašenja ekscitovane energije (Guidi et al., 2011; Landi et al., 2012), što se u većoj meri poklapalo sa dobijenim rezultatima kod *O. biennis*, a u manjoj meri kod ostalih ispitivanih biljaka na deponiji pepela.

Deficit Cu smanjuje fotosintetičku efikasnost PSII (Fv/Fm) na donor i akceptor mestu. Tako, odsustvo proteina od 29 kDa koji ulazi u sastav CP kompleksa PSII može da smanji Fo, dok redukovana sinteza PQ molekula ukazuje na promenu na akceptor mestu PSII ($t_{1/2}$) (Yruela, 2005; Xin et al., 2013). Ove promene mogle bi najviše da odgovaraju dobijenim rezultatima kod *C. epigejos, F. rubra* i *D. glomerata* na pasivnim kasetama deponije pepela.

Husted et al. (2009) su dobili da pri **deficitu Mn** dolazi do smanjivanja Fv/Fm usled opadanja ne-fotohemijskog gašenja ekscitovane energije i količine pigmenata ksantofil ciklusa (Fv). Takođe, nedostatak Mn dovodi do degradacije kompleksa za fotolizu vode (Mn klaster) (Fo), što dalje utiče na usporen transport elektrona i smanjenje Fm vrednosti. Jiang et al. (2002) su ustanovili povećanje Fo vrednosti, kao rezultat

oštećenja LHCII kompleksa antena koji primaju višak energije, koji se ne može adekvatno iskoristiti u procesu fotosinteze. Sve navedene promene odgovaraju fotoinhibiciji PSII na donor mestu (Martinazzo et al., 2012). Sličan odgovor Fo, Fm, Fv i Fv/Fm je bio utvrđen kod svih ispitivanih biljaka na pasivnim kasetama deponije pepela.

Deficit Zn smanjuje Fv, Fm, i Fv/Fm, pri čemu se vrednosti Fo i $t_{1/2}$ ne menjaju ili se smanjuju (Chen et al., 2008; Hajibold and Amirazad, 2012). Smanjivanje posmatranih parametara fluorescencije hlorofila kod svih biljaka na pasivnim kasetama mogu biti posledica deficita Zn u listovima.

Kinetika fluorescencije hlorofila je pokazala da postoji različit fotosintetički odgovor na stres kod sejanih (*F. rubra* i *D. glomerata*) i spontano kolonizovanih vrsta (*C. epigejos* i *O. biennis*). Tako su rezultati u ovoj studiji pokazali da su kod ***F. rubra*** **i** ***D. glomerata*** na deponiji pepela TENT-A u Obrenovcu vrednosti Fo bile slične kontrolnim vrednostima, a da su parametri Fm, Fv, $t_{1/2}$ bili manji, što može da ukaže na akumulaciju fotooštećenja reakcionih centara PSII i smanjenu transmisiju energije između PII i PSI (Bolhar and Nordenkampf, 1991). S obzirom na to da promene Fo parametra nisu bile značajne, može se pretpostaviti da je kod ovih biljaka transfer elektrona od WSE sve do reakcionog centra PSII bio efikasan. Međutim, niske vrednosti Fv ukazuju na smanjenje ne-fotohemijskog gašenja ekscitovane energije, usled manje količine karotenoida kod obe vrste. Smanjene vrednosti Fm i $t_{1/2}$ ukazuju da se fotoinaktivacija PSII odvija na akceptor mestu, kroz povećanje redukcije Q_A akceptora, pri čemu je fotosintetički elektron transfer od Q_A do Q_B usporen ili blokiran, i uz istovremeno smanjen broj PQ molekula, dolazi do usporenog protoka elektrona do PSI, što dovodi do opšteg smanjenja fotosintetičke efikasnosti biljaka (Fv/Fm). Moguće je da kod *F. rubra* i *D. glomerata* na deponiji pepela TENT-A u Obrenovcu visoke temperature u toku leta utiču na smanjenje Fm i usporen protok elektrona. Toksične koncentracije As i B mogle bi najviše da utiču na smanjenje parametra Fm, dok bi deficit Cu, Mn i Zn mogao da dovede do smanjenja vrednosti Fm, Fv i $t_{1/2}$.

Rezultati su pokazali da kod ***C. epigejos*** ne postoje razlike u vrednostima Fo između staništa, dok su vrednosti Fm i Fv bile najveće na K2. Međutim, niske vrednosti Fm, Fv i $t_{1/2}$ kod ove vrste na K3 ukazuju na fotoinhibiciju PSII i smanjenje fotohemijske aktivnosti (Fv/Fm) usled smanjene termalne disipacije energije koja se odvija pomoću

pigmenata ksantofil ciklusa, usporenog transporta elektrona od Q_A do Q_B i naročito manje količine PQ molekula. Toksične koncentracije As u listovima *C. epigejos* na K3 su mogle uticati na smanjenje Fm, dok je deficit Cu i Zn mogao da dovede do smanjenja $t_{1/2}$. Deficit Mn i Zn u listovima ove vrste na K3 je mogao da smanji vrednosti Fv, Fm i Fv/Fm.

Vrsta ***O. biennis*** se na deponijama pepela odlikuje kombinacijom većih vrednosti Fo, Fm i Fv, a kraćim vremenom $t_{1/2}$ u odnosu na K_{Bk}, što takođe ukazuje na fotoinaktivaciju PSII i smanjenu efikasnost fotosinteze (Fv/Fm). Prema Bussotti et al. (2011) povećanje Fo vrednosti može da bude rezultat nekontrolisane disipacije eskscitovane energije u vidu toplote, što je povezano sa većom količinom karotenoida (Fv), kao i transferom elektrona od Q_A do Q_B (Fm). Međutim, manje vrednosti $t_{1/2}$ ukazuju na smanjen broj PQ molekula, čime se povećava imbalans energije između PSII i PSI, što takođe dovodi do smanjenja fotosintetičke efikasnosti. Kod *O. biennis* na deponiji pepela TENT-A u Obrenovcu povećane vrednosti Fo mogu biti posledica delovanja visokih temperatura, toksičnih koncentracija As i B, kao i deficita Mn i Zn, dok smanjene vrednosti $t_{1/2}$ mogu nastati usled deficita Zn.

Dobijeni rezultati u ovom radu su pokazali da na parametre fluorescencije hlorofila kod *C. epigejos*, sezona ima veći uticaj od staništa, što može da ukaže da fotosintetička aktivnost kod ove vrste više zavisi od njenog životnog ciklusa, kao i od klimatskih faktora nego od fizičko-hemijskih karakteristika pepela. Naročito je izraženo smanjenje vrednosti Fm, Fv, Fv/Fm i Fm/Fo na K3 u julu, tokom sušnog i toplog perioda leta, što ukazuje na osetljivost fotosintetičkog aparata na stresne uslove sredine. Jedinke *C. epigejos* na K3 se nalaze u stanju osvajanja novih površina na pepelu i adaptacije na nove uslove rastenja i plodonošenja, a ti uslovi su naročito tokom leta nepovoljni, što se odražava generalno na sporiji rast izdanaka. Takođe, juvenilne i mlade virginilne jedinke *C. epigejos* koje su u proleće završile sa svojim intezivnim rastom, kada je konstantovan i viši nivo fotosinteze, sredinom leta se odlikuju manjom fotosintetičkom efikasnošću, što se delom može objasniti time da one veći deo asimilata usmeravaju ka vegetativnom razmnožavanju i širenju rizomskog sistema, a manje ka rastu izdanka do generativne faze. Krajem leta, u avgustu se povećavao nivo fotosinteze, jer izdanci koji nisu cvetali nastavljaju da intezivno rastu. Na K2, *C. epigejos* je već godinama ustanovljena na pepelu, te promene u fotosintetičkim parametrima tokom sezone su

manje izražene, jer je ova vrsta prošla kroz period adaptacije na pepelištu, a ti uslovi su povoljniji nego pre 11 godina. Veći nivo fotosinteze kod *C. epigejos* na K2 u odnosu na K3 se takođe, može objasniti time da je nakon više godina na starijoj kaseti završena faza ekspanzije i širenja, te se više energije i asimilata troši na rast virginilnih i generativnih izdanaka. U ovom radu bilo je utvrđeno da na parametre fluorescencije hlorofila kod *F. rubra, D. glomerata* i *O. biennis* stanište ima veći uticaj od sezone, što ukazuje da je fotosintetički aparat ovih biljaka više osetljiv na limitirajuće faktore sredine koji vladaju na pepelu (toksične koncentracije As i B, kao i deficit Cu, Mn i Zn), a manje na nepovoljne klimatske faktore i/ili razvojni stadijum biljke.

Na **kontrolnim staništima**, vrste *F. rubra* i *D. glomerata* se razlikuju od *C. epigejos* i *O. biennis* po najvećim vrednostima Fv, a *C. epigejos* od *O. biennis* po većim vrednostima Fo. Naime, vrste *F. rubra* i *D. glomerata* se odlikuju optimalnim vrednostima efikasnosti fotosinteze, karakterišu se velikim brojem funkcionalno aktivnim reakcionim centrima PSII i pokazuju manju osetljivost na stres, a za to je jednim delom odgovorna termalna disipacija prekomerne energije koja se odvija preko pigmenata ksantofil ciklusa (Fv), čime se fotosintetički aparat štiti od fotooksidacije. Veoma niske vrednosti fotosintetičke efikasnosti (ispod optimuma) *C. epigejos* na K_{Ko} mogle bi se objasniti smanjenjem Fm i Fv vrednosti, kao i inaktivacijom PSII, verovatno kao posledice deficita B i Zn u listovima.

Na **K3** je uočeno veliko preklapanje između vrsta, te bi se eventualno spontano kolonizovana *O. biennis* mogla izdvojiti od sejane vrste *F. rubra* po većim vrednostima Fm i Fv. Veće vrednosti Fm i Fv kod *O. biennis* u odnosu na *F. rubra* ukazuju na efikasniji protok elektrona na akceptor mestu PSII, kao i na veću disipaciju energije preko karotenoida, što doprinosi većem broju funkcionalno aktivnih centara PSII i većoj fotohemijskoj aktivnosti (Fv/Fm).

Na **K2**, najviše se razlikuju *O. biennis* od *C. epigejos* po većim vrednostima Fm i Fv. Na kaseti staroj 11 godina, najveći fotosintetički potencijal imaju spontano kolonizovana *O. biennis* i sejana vrsta *F. rubra*. Generalno, na K2 sve tri vrste pokazuju veću efikasnost fotosinteze u odnosu na K3, te iako su te vrednosti ispod optimuma, rezultati mogu da ukažu da ove biljke poseduju adaptivne mehanizme koji povećavaju otpornost i toleranciju fotosintetičkog aparata na nepovoljne uslove koji vladaju na pepelištu.

6.5.2. Sadržaj pigmenata u listovima biljaka

Stresni faktori sredine, kao što su intezivna svetlost, zračenje, suša i teški metali mogu da izazovu destrukciju membrana hloroplasta i da inhibiraju sintezu **hlorofila i karotenoida**, kao i aktivnost enzima koji učestvuju u procesu fotosinteze (Mysliwa-Kurdziel and Strzalka, 2002; Munne-Bosh and Alegre, 2004; Gajić et al., 2009). Degradacija hlorofila i karotenoida je povezana sa akumulacijom ROS, koji dovode do smanjivanja fotosintičke aktivnosti, hloroza i nekroza listova biljaka (Filella et al., 1995). **Karotenoidi** efikasno prenose energiju na Chl *a*, ulaze u sastav LHCP antena kompleksa, a takođe su povezani i sa reakcionim centrom PSII (Stevanović, 2001; Ramel et al., 2012). **β-karoten** vrši deaktivaciju $^1O_2^*$ u reakcionom centru PSII (Telfer, 2002), dok su ksantofili (zeaksantin – Zx, anteraksantin – Ax, violaksantin – Vx) uključeni u ne-fotohemijsko gašenje ekscitovane energije (NPQ) u LHCP kompleksu (Horton et al., 2005; Li et al., 2009). **Lutein** vrši stabilizaciju proteina LHC kompleksa antena, efikasno prenosi ekscitovanu energiju do hlorofila i gasi ^{3}Chl* (Jahns and Holzwarth, 2012). Povećana akumulacija **antocijana** je indukovana UV-B zračenjem, intezivnom svetlošću, visokom i niskom temperaturom, sušom, nedostatkom N i prisustvom patogena (Gould and Lee, 2002; Steyn et al., 2002). Cianidin glukozidi mogu direktno da gase $O_2^{\cdot-}$, $OH^{\cdot}$ i H_2O_2 (Yamasaki et al., 1996) Prema Quina et al. (2009) antocijani imaju fotozaštitnu ulogu, jer štite fotosintetički aparat od fotooksidativnog stresa, tako što smanjuju količinu apsorbovane svetlosti, čime se umanjuje fotoinhibicija PSII.

Na deponiji pepela TENT-A u Obrenovcu u listovima *C. epigejos, F. rubra, D. glomerata* i *O. biennis* količina hlorofila je bila manja u odnosu na kontrolna staništa (Slika 94), što ukazuje da ovi parametri pokazuju osetljivost na stresne uslove sredine koji postoje na pepelištu, kao što su suša, intezivna svetlost, zračenje, kao i toksične koncentracije As i B, ali i deficita Cu, Mn i Zn u listovima.

Niske koncentracije hlorofila bile su utvrđene kod biljaka koja rastu uslovima **suše** (Kyparissis et al., 1995) i **visoke temperature** (Behera and Choudhury, 2001). Slično našim rezultatima, manja količina Chl *a*, Chl *b*, Chl *a+b* bila je zabeležena kod *Lolium perenne* koja raste na zemljištu na kome je dodat pepeo poreklom iz termoelektrane u

Francuskoj (Lopareva-Pohu et al., 2011), kao i kod *Brassica juncea* koja raste na pepelu poreklom iz termoelektrane u Indiji (Gautam et al., 2012).

Utvrđeno je smanjivanje količine Chl *a* i Chl *b* pri **visokim koncentracijama As** kod *Phaseolus vulgaris* (Miteva and Merakchiyska, 2002), kao i kod *Oryza sativa* (Rahman et al., 2007), što se takođe poklapalo sa dobijenim rezultatima kod ispitivanih biljaka na pasivnim kasetama deponije pepela. Međutim, Päivöke and Simola (2001) su zabeležili da sa povećanjem koncentracije As koncentracije Chl *a*, Chl *b* i Chl *a*+*b* rastu u listovima *Pisum sativum*.

Takođe, **toksične koncentracije B** smanjuju količinu hlorofila kod *Citrus* sp. (Papadakis et al., 2004) i *Triticum aestivum* (Metwally et al., 2012), te manja količina hlorofila kod ispitivanih biljaka na pasivnim kasetama može biti posledica visokih koncentracija B. Međutim, kod *Solanum lycopersicum* i *Daucus carota* visoke koncentracije B ne utiču značajno na koncentracije Chl *a*, Chl *b* i Chl *a*+*b* (Eraslan et al., 2007b; Cervilla et al., 2012).

Deficit Cu dovodi do smanjene biosinteze hlorofila kod *Beta vulgaris* (Droppa et al., 1984), kao i kod *Avena sativa* i *Spinacia oleracea* (Baszynski et al., 1978). Manja količina hlorofila kod biljaka sa deponije pepela može biti rezultat nedostatka Cu u njihovim listovima.

Deficit Mn utiče na smanjenje količine hlorofila kod *Triticum aestivum* (Wilkinson and Ohki, 1988) i *Mentha piperita* (Candan and Tarhan, 2011). Kao i u slučaju Cu, manja količina hlorofila u listovima ispitivanih biljaka sa pasivnih kaseta deponije pepela može biti posledica nedostatka Mn. Prema Mysliwa and Strzalka (2002) deficit Mn utiče na biosintezu hlorofila na mestu konverzije Mg – protoporfirina IX u protohlorofilide i nedostatak Mn može značajno da utiče na smanjenje količine pigmenata vezanih za reakcioni centar PSII, kao što su CP43 i CP47, zbog čega se smanjuje efikanost transfera energije.

U uslovima **deficita Zn** bilo je utvrđeno značajno smanjivanje Chl *a*, Chl *b* i Chl *a*+*b* kod *Citrus sinensis* i *Oryza sativa* (Balakrishnan et al., 2000; Wenrong et al., 2008), kao i Chl *a* i Chl *b* kod *Brassica oleracea* (Hajiboland and Amirazad, 2010). Nedostatak Zn u listovima biljaka sa pasivnih kaseta deponije pepela takođe može dovesti do smanjenja količine hlorofila.

Odnos **Chl *a/b*** je kod *C. epigejos* na K2 bio veći u odnosu na kontrolna staništa, dok je kod *F. rubra*, *D. glomerata* i *O. biennis* bio sličan, što može da ukaže da ove vrste poseduju funkcionalni potencijal održavanja fiziološke aktivnosti. Kod svih biljaka na deponiji pepela TENT-A u Obrenovcu odnos Chl *a/b* se kretao od 2.63 – 4.05 i te vrednosti su se prema Lichtenthalter and Buschmann (2001) nalazile u normalnom opsegu za biljke (2.5 – 3.5). Tako, kod *C. epigejos* na K2 povećanje odnosa Chl *a/b* od 4.05 u odnosu na K_{Ko} (3.51) ukazuje na manju osetljivost Chl *a* koji ulazi u sastav jezgra PSII, dok je Chl *b* koji ulazi u sastav LHCP kompleksa antena više podložan promeni, što se i podudara sa većom fotosintetičkom efikasnošću (0.636) u odnosu na K_{Ko} (0.586).

Količina **Tot Carot** je u listovima *C. epigejos*, *F. rubra*, *D. glomerata* i *O. biennis* na deponiji pepela TENT-A u Obrenovcu bila manja u odnosu na kontrolna staništa (Slika 95), što može da ukaže na smanjenu fotozaštitnu funkciju ukupnih karotenoida. Prema Munné-Bosch and Alegre (2000), kada je količina karotenoida pod uticajem visoke temperature ili suše smanjena, njegova količina se sporo obnavlja. Dobijeni rezultati u ovoj studiji mogu potencijalno da ukažu da je količina β – karotena, luteina i količina zeaksantina smanjena, što dovodi do disocijacije LHCP kompleksa od reakcionog centra PSII, kao i smanjene disipacije ekscitovane energije u vidu toplote i ne-efikasnog gašenja ^{3}Chl* i singlet kiseonika $^1O_2^*$, što na kraju utiče na smanjivanje fotosintetičke aktivnosti, što se i poklapa sa manjim Fv/Fm vrednostima kod ispitivanih biljaka.

Međutim, količina Tot Carot je kod *O. biennis* na K3 bila veća u odnosu na K2, što ukazuje da ova vrsta u uslovima oksidativnog stresa poseduje potencijal održavanja stabilne funkcije karotenoida. Kod *O. biennis* na K2 manja količina Tot Carot, a veća efikasnost fotosinteze u odnosu na K3 mogla bi se objasniti akumulacijom oksidacionih metabolita β – karotena nastalih direktnom oksidacijom $^1O_2$, dok nivoi endoperoksida ksantofila (violaksantin – Vx, anteraksantin – Ax i zeaksantin - Zx) ostaju niski i sa povećanjem fotooksidativnog stresa nisu podložni promenama (Ramel et al., 2012). Ramel et al. (2013) ukazuju da je glavno mesto akumulacije $^1O_2$ ustvari β – karoten smešten u rekcionom centru PSII, a ne ksantofili koji ulaze u sastav LHCP antena. Tako su rezultati u ovoj studiji potvrdili veću vrednost Fv kod *O. biennis* na K2 u odnosu na K3, koja se i vezuje za ne-fotohemijsko gašenje ekscitovane energije i količinu

pigmenata ksantofil ciklusa koji vrše disipaciju prekomerne energije, što se na kraju odražava na povećanje fotosintetičke efikasnosti. Utvrđeno je da oksidacioni produkti karotenoida, kao reaktivne elektrofilne vrste (RES), funkcionišu kao signalni molekuli u uslovima fotooksidativnog stresa, ukazujući na novu funkciju karotenoida u uslovima stresa kod biljaka (Ramel et al., 2012).

Prema Lopareva – Pohu et al. (2011) količina karotenoida kod *Trifolium repens* se nije značajno razlikovala između kontrolnog i zemljišta na kome je dodat pepeo, dok su koncentracije karotenoida kod *Lolium perenne* bile manje na zemljištu sa pepelom. Smanjivanje količine karotenoida bilo je utvrđeno u prisustvu **visokih koncentracija As** kod *Azzola caroliliana* (Guimares et al., 2012), **toksičnih koncentracija B** kod *Triticum aestivum* (Metwally et al., 2012), **deficita Cu** kod *Pisum sativum* (Ayala et al., 1992), **Mn** kod *Mentha piperita* (Candan and Tarhan, 2011) i **Zn** kod *Citrus sinensis* (Balakrishnan et al., 2000) i *Brassica oleracea* (Hajiboland and Amirazad, 2010). Slično rezultatima drugih autora, manja količina karotenoida u listovima ispitivanih biljaka sa pasivnih kaseta deponije pepela, može biti posledica toksičnih koncentracija As i B, ali i nedostatka Cu, Zn i Mn. Međutim, pojedini autori su pokazali da visoke koncentracije B nisu uticale na količinu karotenoida kod *Solanum lycopersicum* (Cervilla et al., 2012), *Citrus* sp. (Keles and OncelI Yenice, 2004) i *Spinacia oleracea* (Eraslan et al., 2007), dok je pri deficitu Zn ukupan sadržaj karotenoida bio povećan kod *Solanum lycopersicum* (Kösesakal and Ünal., 2009).

Količina antocijana u listovima ispitivanih biljaka je varirala između staništa, što može da ukaže da ovaj pigment pokazuje različitu osetljivost na stresne uslove sredine. Tako je kod *D. glomerata* na deponiji pepela TENT-A u Obrenovcu količina antocijana bila manja, kod *F. rubra* veća, a kod *C. epigejos* i *O. biennis* slična kontrolnim staništima (Slika 95). Prema brojnim autorima, antocijani štite fotosintetička tkiva od fotooksidacije kroz smanjenu količinu dostupne svetlosti i manju količinu ekscitovane energije, redukujući generisanje $O_2^{\cdot -}$ i fotoinhibiciju PSII (Krol et al., 1995; Merzlyak and Chivkunova, 2000), i prema Das et al. (2011) odgovorni su za redoks stanje PQ pula u fotosintetičkom transportu elektrona. Kod *Lactuca sativa* cianidin-3-malonilglukozid koji se nalazi u ćelijama epidermisa listova apsorbuje PAR (photosynthetic active radiation), pri čemu se reakcioni centri PSII održavaju funkcionalno aktivnim, manji su zahtevi za ne-fotohemijskim gašenjem ekscitovane

energije, a veća fotohemijska efikasnost (Demmig-Adams and Adams, 2006; Neill, 2002).

U prisustvu **visokih koncentracija As** utvrđena je značajna akumulacija antocijana u listovima *Azzola caroliliana* (Guimares et al., 2012), **B** u listovima *Solanum lycopersicum* (Cervilla et al., 2012) i **deficita Zn** kod *Solanum lycopersicum* (Kösesakal and Ünal., 2009) i *Brassica oleracea* (Hajiboland and Amirazad, 2010). Povećana količina antocijana zabeležena u listovima *F. rubra* na K3 može biti posledica toksičnih koncentracija As i B, a nedostatka Zn. Međutim, kod *D. carrota* visoke koncentracije B nisu uticale na sadržaj antocijana u listovima (Eraslan et al., 2007). S obzirom na to da se količina antocijana u listovima *C. epigejos* i *O. biennis* na pasivnim kasetama deponije pepela nije značajno razlikovala između staništa, moguće je da visoke koncentracije B nisu uticale na sadržaj antocijana kod ovih vrsta.

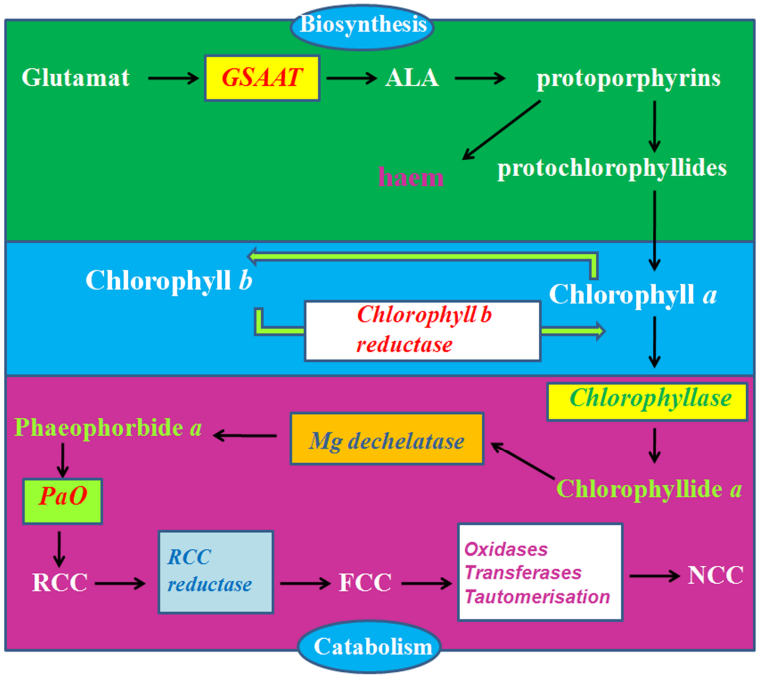
Rezultati su pokazali da je količina antocijana u listovima *D. glomerata* na K3 bila više podložna promenama u odnosu na kontrolno stanište, te je manja količina antocijana mogla da utiče na ne efikasnu zaštitu PSII i manju fotohemijsku efikasnost. Iako na deponiji pepela TENT-A u Obrenovcu kod *C. epigejos, F. rubra* i *O. biennis* antocijani pokazuju manju osetljivost na stres, kod njih je zabeležena niska efikasnost fotosinteze, naročito na K3. Moguće je da su niske vrednosti Fv/Fm kod ovih biljaka na K3 posledica nedovoljno efikasne zaštite PSII antocijanima, a direktnog uticaja toksičnih koncentracija As i B, kao i deficita Cu, Mn i Zn na strukturu i funkciju PSII. Neill (2002) su ustanovili da visoke koncentracije $O_2^{\cdot-}$ rezultiraju u značajnom gubitku boje flavilium forme cianidin-3-malonilglukozida, a takvo „izbeljivanje“ ukazuje na smanjivanje aktivne forme antocijana koja može da neutrališe $O_2^{\cdot-}$ radikal. Prema istom autoru, stabilizacija flavilium obojene forme antocijana kroz njegovu interakciju sa metalima, drugim flavonoidima i acil grupama je od presudne važnosti u fotozaštiti PSII.

Rezultati istraživanja su pokazali da stanište ima veći uticaj na količinu pigmenata od sezone kod *C. epigejos*, *F. rubra*, *D. glomerata* i *O. biennis*. Međutim, kod *F. rubra* na količinu Chl *b*, Chl *a*+*b*, Tot Carot i antocijana sezona ima veći uticaj od staništa. Kod ove vrste se na K3 i K2 tokom sezone održavaju veće količine Chl *a*, Chl *a*+*b* i Chl *a*/*b*, dok se sadržaj Tot Carot na K3 ne menja.

Održavanje količine hlorofila i zelene boje listova *F. rubra* tokom sezone bi se potencijalno moglo objasniti postojanjem *stay-green* mutacije *sid* gena. Ova mutacija je prvi put opisana kod *Festuca pratensis* od strane Thomas (1987), po kome su kod ove vrste na kraju životnog ciklusa listovi mutantne linije Bf993 bili zelene boje, dok su kod divljeg tipa (cv. Rosa) bili kompletno žute boje. Tip C – *stay green* mutacija kod *F. pratensis* se klasifikuje u ne-funkcionalnu „kozmetičku" kategoriju, pri kojoj se hlorofili zadržavaju, a fotosintetička aktivnost smanjuje (Thomas and Howarth, 2000; Armstead et al., 2007), što je bilo u saglasnosti sa dobijenim rezultatima u ovoj studiji. *Stay green* geni (SGR) su bili utvrđeni i kod drugih vrsta biljaka, kao što su: *Capsicum annum, Oryza sativa, Pisum sativum* i *Solanum lycopersicum* (Hörtensteiner, 2009).

Kod *stay green* mutananata tokom starenja listova ne dolazi do degradacije hlorofila, odnosno postoji oštečenje u kataboličkom putu hlorofila, pri čemu su membranski proteini tilakoida ostaju stabilni, kao što su LHCPII i D1 protein reakcionog centra (Thomas, 1987; Thomas et al., 1989; Sakuraba et al., 2012; Kusaba et al., 2013). Pri normalnom procesu starenja listova, LHCP proteini nisu čvrsto vezani za hlorofile, što ih čini pogodnim za delovanje proteolitičkih enzima. Aktivnost enzima hlorofilaza, Mg dehelataza i RCCR (red chlorophyll catabolit reductase) ostaje nepromenjena, dok je aktivnost enzima PaO (phaeophorbide *a* oxygenase) kod mutanata blokirana, što ukazuje da je mutacija lokalizovana na PaO genu koji je odgovoran za gubitak zelene boje kod starih listova (Vicentini et al., 1995; Thomas et al., 1989; Roca et al., 2004; Ren et al., 2007) (Slika 138). Isti autori su utvrdili da blok na nivou enzima PaO ukazuje na akumulaciju visoko polarnih zelenih komponenti (PC – highly polar green component), kao što su hlorofilid *a* (chlorophyllide *a*) i feoforbid *a* (phaeophorbide *a*) (Slika 138).

Kod *stay green* mutanata bilo je zabeleženo da se količina Chl *a*, Chl *b*, Tot Carot, kao i odnos Chl *a/b* povećavaju ili tokom sezone ostaju manje ili više stabilni (Biswal et al., 1994; Hauck et al., 1997). Slično, kod *D. glomerata* na K3, niska fotosintetička efiksnost, stabilna količina Chl *a*, Chl *b*, Chl *a*+*b* i Tot Carot i visok odnos Chl *a/b* u listovima tokom sezone mogli bi da ukažu na mogućnost posedovanja *stay green* mutacije, koja im omogućava zadržavanje zelene boje listova sve do kraja sezone.



Slika 138. Biosinteza i katabolizam hlorofila, glavni intermedijari i značajni enzimi: GSAAT (glutamic semialdehid aminotransferaze); ALA (aminolevulinic acid); PaO (phaeophorbide *a* oxygenase); RCC (red chlorophyll catabolite); FCC (fluorescent chlorophyll catabolite); NCC (non-fluorescent chlorophyll catabolite) (šematski model prema Thomas, 1997).

Rezultati u ovoj studiji su pokazali da se na **kontrolnim staništima** *D. glomerata* odlikuje najvećom količinom svih pigmenata, što se podudara sa najvećim vrednostima Fv u odnosu na ostale biljke i visokom fotosintetičkom efikasnošću.

Na **K3**, takođe se *D. glomerata* karakteriše najvećom količinom svih pigmenata u odnosu na ostale ispitivane biljke, ali se uprkos tome odlikuje niskom fotosintetičkom efikasnošću. Spontano kolonizovana vrsta *O. biennis* ima veću količinu hlorofila i karotenoida od *C. epigejos* i *F. rubra*, što se i ogleda u većoj efikasnosti fotosinteze i vrednosti Fv parametara.

Na **K2**, količina hlorofila je bila najveća kod *F. rubra*, dok je količina karotenoida i antocijana bila slična između vrsta. Generalno, rezultati su pokazali da se na K2 vrsta *F. rubra* odlikuje najvećom količinom hlorofila u odnosu na ostale ispitivane biljke, što se podudara sa visokom fotosintetičkom efikasnošću. Vrsta *O. biennis* ima veću količinu hlorofila od *C. epigejos*, što ukazuje na manju osetljivost fotosintetičkog aparata na oksidativni stres i veću efikasnost fotosinteze.

6.6. Sadržaj malondialdehida (MDA) u listovima ispitivanih biljaka

Pod uticajem različitih abiotičkih i biotičkih faktora spoljašnje sredine dolazi do promena u sastavu, strukturi i integrisanosti ćelijskih membrana (Leshem, 1992; Borsani et al., 2001; Verma and Dubey, 2003). Reaktivne vrste kiseonika (ROS), kao što su $O_2^{\cdot-}$, $OH^{\cdot}$, H_2O_2 reaguju sa lipidima membrana, dovode do peroksidacije polinezasićenih masnih kiselina membrana, povećavajući njenu permeabilnost i isticanje rastvora i elektrolita iz ćelija, ali istovremeno se u ćeliju mogu propuštati i usvajati toksični elementi (Thompson, 1998). Tokom degradacionih procesa produkuju se peroksi radikali koji mogu da izdvoje H^+ iz nezasićenih masnih kiselina, čime se pokreće lanac reakcija peroksidacije membrana. **MDA** se smatra indikatorom produkcije slobodnih radikala i peroksidacije lipida membrana (Symons et al., 1988; Weber et al., 2004). Predstavlja finalni produkt peroksidacije PUFA (polyunsaturated fatty acid), veoma je mali molekul izgrađen od tri ugljenikova atoma i sadrži tri ili više duplih veza, a najčešće nastaje od trienoik masne kiseline, α-linoleinske kiseline (TFA – trienoic fatty acid, 75%) (Mueller, 1998; Weber et al., 2004; Falcone et al., 2004). Prema Esterbauer et al. (1991) MDA produkt može postojati i nekoliko različitih formi u rastvoru. MDA modifikuje tiolne grupe peptida (Sattler et al, 2006), ili reaguje sa ostacima proteina koji formiraju polarnu glavu fosfolipida (amini ili lizin) (Uchida, 2003), narušavajući tako strukturu i selektivnu permeabilnost membrana (Mueller, 2004).

Rezultati istraživanja su pokazali da je količina MDA u listovima ispitivanih biljaka koje rastu na deponiji pepela TENT-A u Obrenovcu bila veća u odnosu na kontrolna staništa (Slika 97). Povećanje količine MDA u listovima biljaka na pasivnim kasetama ukazuje na peroksidaciju lipida membrana i oksidativni stres. MDA predstavlja finalni produkt peroksidacije PUFA (polyunsaturated fatty acid) koji modifikuje tiolne grupe peptida (Sattler et al, 2006), ili reaguje sa ostacima proteina koji formiraju polarnu glavu fosfolipida (Uchida, 2003), narušavajući tako strukturu i selektivnu permeabilnost membrana (Mueller, 2004).

Kod ***F. rubra*** i ***D. glomerata*** produkcija MDA je bila veća na K3 u odnosu na kontrolna staništa. Povećana količina ROS uzrokuje oksidativni stres koji dovodi do oštećenja ćelijskih membrana, povećanja permeabilnosti, oštećenja funkcionalnih molekula i narušavanja metaboličkih procesa (Mittler, 2002). Schmid-Siegert et al. (2012) su zabeležili da se u ćelijama mezofila hloroplasta nalazi najveća količina MDA koja je poreklom od TFAs (trienoik masne kiseline, α-linoleinske kiseline, 75%) (Weber et al., 2004; Falcone et al., 2004) i da ona dovodi do smanjivanja fotohemijske efikasnosti ćelija (Vollenweider et al., 2000), što je u saglasnosti sa dobijenim rezultatima u ovoj studiji. Niska fotosintetička efikasnost, kao i mala količina hlorofila i karotenoida kod *F. rubra* i *D. glomerata* na K3 (TENT-A u Obrenovcu) se može objasniti velikom količinom MDA u listovima, koja nastaje kao posledica delovanja visokih temperatura, suše, toksičnih koncentracija As i B, kao i deficita Mn i Zn. Tako se prema Weber et al. (2004) kod *Arabidopsis thaliana* u uslovima ozbiljnog oksidativnog stresa količina MDA povećava za 54.9 %. MDA modifikuje tiolne grupe peptida (Sattler et al, 2006), ili reaguje sa ostacima proteina koji formiraju polarnu glavu fosfolipida (Uchida, 2003), narušavajući tako strukturu i selektivnu permeabilnost membrana (Mueller, 2004).

Međutim, u listovima spontano kolonizovanih vrsta ***C. epigejos*** **i** ***O. biennis*** sadržaj MDA je bio najveći na K2. Utvrđeno je da je *C. epigejos* odnos Chl *a/b* i Fv/Fm bio najveći na K2 i da je ova vrsta izložena toksičnim koncentracijama As, kao i deficitarnim sadržajem Cu, Mn i Zn u listovima. Kod *O. biennis* fotosintetička efikasnost je bila najveća na K2, a istovremeno su u listovima bile izmerene toksične koncentracijame As, a deficitarne Mn. Rezultati ukazuju da uprkos velikoj količini MDA produkta u listovima *C. epigejos* i *O. biennis*, promene u vidu smanjenja količine pigmenata i fotohemijske efikasnosti nisu bile velike. Prema Schmid-Siegert et al. (2012) ako se najveća količina MDA nalazi u citosolu, pri neutralnoj pH vrednosti, onda je njegova hemijska reaktivnost mala i ćelije su sposobne da tolerišu MDA. Takođe, Mene-Saffrane et al. (2009) su pokazali da TFA u listovima može da deluje kao pufer ćelijskog pula ROS i da ima zaštitnu funkciju. Naime, promene u ukupnoj količini MDA mogu biti signal za gensku ekspresiju antioksidativnih enzima i molekula tokom oksidativnog stresa (Weber et al., 2004).

Morsy et al. (2012) su zabeležili povećanje količine MDA, a smanjenje količine polinezasićenih masnih kiselina (PUFA) kod biljaka koje rastu na zemljištu sa teškim metalima. Međutim, kod *Lolium perenne* i *Trifolium repens* koje rastu na zemljištu obogaćenim pepelom iz termoelektrane u Francuskoj, količina MDA se u listovima smanjivala (Lopareva – Pohu et al., 2011), što se uglavnom podudaralo sa dobijenim rezultatima kod *F. rubra* na K2, i *C. epigejos* i *O. biennis* na K3.

Povećanje količine MDA u listovima u prisustvu **visokih koncentracija As** bilo je utvrđeno kod *Zea mays* (Stoeva et al., 2004), *Oryza sativa* (Tripathi et al., 2012), *Holcus lanatus* (Hartley-Whitaker et al., 2002), *Pteris vittata, Pteris ensiformes* (Singh et al., 2006), *Adianthum capilillus-veneris* (Singh et al., 2010), *Vigna mungo* (Srivastava and Sharma, 2013), *Pisum sativum* i *Pennisetum typhoides* (Sharma, 2013). Slično, povećanje količine MDA u listovima ispitivanih vrsta na pasivnim kasetama deponije pepela verovatno je posledica delovanja toksičnih koncentracija As na ćelijske membrane. Utvrđeno je da **As** dovodi do peroksidacije lipida membrana hloroplasta, usled čega se povećava njena permeabilnost i omogućava unos As koji potom smanjuje količinu pigmenata i fotohemijsku efikasnost (Miteva and Merakchiyska, 2002; Garg and Singla, 2011; Sharma, 2013), što je i bilo u skladu sa dobijenim rezultatima.

B je neophodan za stabilizaciju membrana i utiče direktno na aktivnost plazma-membranskih H^+-ATPasa (Ferrol et al., 1993; Marschner, 1995). Vezivanje B za *cis*-diol grupe glikolipida i glikoproteina plazma membrane doprinosi stabilizaciji membrana i svaka promena ovih kompleksa pri deficitu B može da modifikuje karakteristike membrane, a samim tim i njenu permeabilnost za transport H^+ (Ferrol et al., 1993). Međutim, kod ispitivanih biljaka sa kontrolnih staništa, količina MDA u listovima nije bila tako velika, ukazujući da uprkos deficitu B nije došlo do znatnih oštećenja membrana. Bor se pri visokim koncentracijama transportuje preko ćelijske membrane unutar ćelije, gde ispoljava toksičan efekat. Bilo je utvrđeno da **toksične koncentracije B** povećavaju akumulaciju MDA u listovima kod *Solanum lycopersicum* (Cervilla et al., 2012), *Hordeum vulgare* (Karabal et al., 2003) i *Vitis vinifera* (Gunes et al., 2006), što se slagalo sa našim rezultatima.

Candan and Tarhan (2011) su u listovima *Mentha piperita* u uslovima **deficita Mn** izmerili veću produkciju MDA, što je bilo slično našim rezultatima. Pri **deficitu Mn**, količina glikolipida i PUFA tilakoidnih membrana može biti i do 50% smanjena

(Constantopoulus, 1970) i prema Marschner (1995) ove ultrastrukturne promene tilakoida su često ireverzibilne.

Hajiboland and Amirazad (2010) ustanovili povećanu produkciju MDA produkta pri **deficitu Zn** kod *Brassica oleracea*. Slično, povećana količina MDA u listovima svih ispitivanih biljaka na pasivnim kasetama deponije pepela može biti posledica nedostatka Zn. U uslovima **deficita Zn** smanjuje se ukupan sadržaj fosfolipida i stepen nezaćenosti masnih kiselina, što dovodi do povećane permeabilnosti plazma membrane, produkcije $O_2^{\cdot -}$ i peroksidacije lipida (Cakmak and Marschner, 1988c). Prema Marschner (1995) Zn je neophodan za održavanje integrisanosti membrana, jer se vezuje za fosfolipidne i sulfhidrilne grupe komponenti membrana ili formira tetrahedralne komplekse sa ostacima cisteina polipeptidnih lanaca, te smanjivanje količine Zn u ćelijima smanjuje stabilnost i integrisanost membrana, a lipidi i proteini su više izloženi oksidativnom stresu.

Rezultati u ovom radu su pokazali da na količinu MDA u listovima *F. rubra* i *D. glomerata* sezona ima veći uticaj od staništa. Kod obe vrste, sadržaj MDA u listovima je bio najveći u maju i smanjivao se tokom sezone, što ukazuje da su ćelijske membrane ovih biljaka bile najosetljivije u proleće, a da su u toku leta pokazale manju oseljivost, verovatno usled pojačane sinteze antioksidativnih jedinjenja. Nasuprot njima, kod *C. epigejos* i *O. biennis* stanište ima veći uticaj na količinu MDA produkta i peroksidaciju lipida membrana.

Na **kontrolnim staništima** vrste *O. biennis* i *C. epigejos* se odlikuju većom količinom MDA u listovima u odnosu na *F. rubra* i *D. glomerata*, što se uglavnom podudaralo sa njihovom manjom količinom pigmenata i fotosintetičkom efikasnošću.

Na **K3**, vrsta *F. rubra* se karakteriše najvećom količinom MDA u listovima u odnosu na ostale ispitivane biljke, što se podudaralo sa niskom fotositetičkom efikasnošću i manjom količinom pigmenata. Ova vrsta pokazuje najveću osetljivost membrana na oksidativni stres usled delovanja visokih temperatura, suše, toksičnih koncentracija As i deficita Cu i Zn u listovima.

Na **K2,** vrsta *O. biennis* se odlikuje većom produkcijom MDA u listovima u odnosu na *C. epigejos* i *F. rubra*, što može da ukaže na veću osetljivost membrana na prisustvo toksičnih koncentracija As i deficit Mn u listovima.

6.7. Komponente antioksidativnog sistema u listovima ispitivanih biljaka

6.7.1. Sadržaj fenola u listovima biljaka

Fenoli predstavljaju veliku klasu sekundarnih metabolita koji se karakterišu najmanje jednim aromatičnim prstenom (C6) sa jednom ili više OH grupa (Grace, 2005). Količina fenolnih jedinjenja se kod biljaka povečava kada su one izložene različitim stresnim faktorima sredine, kao što je intezivna svetlost (Grace and Logan, 1996), suša (Smirnoff, 1993), salinitet (Mittova et al., 2003), niska temperatura (Prasad et al., 1994), UV radijacija (Landry et al., 1995), teški metali (Gajić et al., 2009), NO_2 i O_3 (Pasqualini et al., 2003), patogeni (Levine et al., 1994). Fenolna jedinjenja imaju ulogu u: 1) zaštiti od UV zračenja, 2) zaštiti od fotoinhibicije PSII, 3), odbrani od herbivira i patogena, 4) antioksidativnoj zaštiti (Grace, 2005). **Antioksidativne karakteristike fenola** se ogledaju u njihovoj sposobnosti da: 1) direktno uklone ROS ($O_2^{\cdot-}$, $OH^{\cdot}$, H_2O_2, $^1O_2$, peroxyl radical) tako što doniraju elektron ili atome H, 2) helatizuju jone metala, 3) menjaju kinetiku peroksidacije, tako što modifikuju pakovanje lipida i smanjuju fluidnost membrana, 4) stabilizuju i delokalizuju nesparen elektron fenoksil radikala (Rice-Evans et al., 1996; Arora et al., 2000; Majer et al., 2014). Sve ove promene smanjuju difuziju slobodnih radikala i ograničavaju reakcije peroksidacije. Fenoli su uključeni u uklanjanje H_2O_2 u apoplastu, vakuoli i ćelijskom zidu uz pomoć peroksidaza (PODs). Rastvorne PODs u apoplastu mogu da uklone H_2O_2 uz pomoć fenola i askorbata (Takahama and Oniki, 1997).

Rezultati istraživanja su pokazali da je količina slobodnih (SF), vezanih (VF) i ukupnih formi fenola (UF) kod *C. epigejos, F. rubra, D. glomerata* i *O. biennis* na deponiji pepela TENT-A u Obrenovcu bila veća u odnosu na kontrolna staništa (Slika 100). Tako je sadržaj SF, VF i UF u listovima *C. epigejos* i *F. rubra* bio najveći na K3 i K2, *D. glomerata* na K3, dok je kod *O. biennis* sadržaj SF bio najveći na K2, a VF i UF na K3.

Povećanje količine SF i VF u listovima ispitivanih biljaka na deponiji pepela TENT-A u Obrenovcu predstavlja odgovor na nepovoljne uslove pepelišta (visoka temperatura, suša, toksičnost As i B, deficit Cu, Mn i Zn), odnosno ukazuje na povećanje visoko rastvornih frakcija fenola, koje mogu da deluju kao efikasni antioksidansi, kao i

povećanja frakcija fenola u vidu estra ili onih vezanih za polisaharide ćelijskog zida ili pak polimerizovanih u lignin. Generalno, sve ispitivane biljke na kontrolnim staništima i deponiji pepela se odlikuju većom količinom VF u odnosu na SF. Fenoli koji ulaze u sastav ćelijskih zidova obezbeđuju mehaničku potporu i regulišu rast biljaka (Wallace and Fry, 1994). Tako, veća količina VF u listovima biljaka na deponiji pepela TENT-A u Obrenovcu može da ukaže na pojačanu polimerizaciju fenola do lignina uz pomoć peroksidaza. Takođe, Tattini et al. (2005) su utvrdili da biljke koje rastu uslovima intezivne svetlosti i suše sintetišu više fenola u kutikularnom sloju i epidermalnim ćelijama (hidroksicinamične kiseline i aglikoni flavonoida), kako bi smanjile količinu prekomerne svetlosti koja u ćelijama mezofila može da izazove oštećenja PSII.

Prema Grace (2005) i Hernandez et al. (2009) flavonoidi i HCAs su veoma efikasni u **spečavanju peroksidacije lipida membrana** i uklanjaju alkil peroksil radikala. Rezultati u ovoj studiji su pokazali da je na K3 u listovima *C. epigejos* i *O. biennis* dobijena najmanja količina MDA, što se podudaralo sa većom količinom SF i VF, odnosno sa većom količinom VF. Tako su Kural et al. (2011) zabeležili da kafeinska kiselina i metoksi supstituisani derivati ferulinske kiseline sprečavaju peroksidaciju lipida membrana. Terao et al. (1994) su utvrdili da flavonoid aglikoni smešteni blizu površine membrana mogu da zaštite lipide membrana uklanjajući ROS, dok su Nardini et al. (1995) ustanovili da flavonoidi koji imaju katehol strukturu takođe sprečavaju peroksidaciju lipida membrana. Hidrofobni flavan-3-ol estri galne kiseline se ugrađuju duboko u slojeve lipida i štite membrane od oksidativnih oštećenja (Saffari and Sadrzadeh, 2004), dok hidrofilni flavan-3-ols mogu da interaguju sa polarnim glavama fosfolipida (Erlejman et al., 2004). U listovima *F. rubra* na K3 je zabeležena veća količina antocijana u odnosu na K2 i K_{Bb}. Prema Tsuda et al. (1996) antocijani inhibiraju peroksidaciju lipida, odnosno C3G (cyanidin 3-O-beta-D-glucoside) i njegov aglikon mogu da smanjuju formiranje MDA u lipozomalnom sistemu. Međutim, kod *F. rubra*, uprkos povećanoj količini antocijana, SF i VF na K3 u odnosu na kontrolno stanište, količina MDA produkta je bila velika u listovima. Slično je bilo utvrđeno i kod *D. glomerata*, gde povećana količina SF i VF u listovima nije bila dovoljna da spreči oštećenja membrana.

Akumulacija HCAs, flavonoida i antocijana u **fotosintetičkim tkivima** biljaka smanjuje fotoinhibiciju PSII (Grace and Logan, 2000; Grace, 2005). Korelacija između inteziteta svetlosti i količine fenola u listovima je bila utvrđena kod mnogih biljaka (Waterman and Mole, 1994; Tattini et al., 2005). Booij-James et al. (2000) su ukazali na ulogu flavonoida u protekciji fotosintetičkog aparata listova biljaka i udela sinapat estra u zaštiti D1/D2 proteina reakcionog centra PSII. Kvercetin i kamferol glikozid mogu biti oksidovani na donor mestu PSII, pri čemu odlažu peroksidaciju lipida membrana tilakoida (Takahama, 1983). Kod *C. epigejos*, *F. rubra* i *O. biennis* na K2 (TENT-A u Obrenovcu) je bila izmerena veća fotosintetička efikasnost u odnosu na K3. Tako su Tattini et al. (2005) pokazali da se u uslovima intezivnog zračenja *Phyllirea latifolia* odlikuje visokom Fv/Fm od 0.830 i većom količinom hidroksicinamata i kutikularnih flavonoida (aglikoni kvercetina, luteolina i apigenina) u odnosu na količinu flavonoid glikozida. Prema istim autorima, *Ligustrum vulgare* se takođe odlikuje visokom fotosintetičkom efikasnošću (Fv/Fm od 0.830), ali je akumulacija flavonoida sa ortho-dihidroksilovanim B prstenom, kao što su Que 3-O-rut (quercetin 3-O-rutinoside) i Lut 7-O-glc (luteolin 7-O-glc) veća u odnosu na hidroksicinamate. Smatra se da Que 3-O-rut ima ključnu ulogu u uklanjanju ROS i disipaciji prekomerne energije u oštećenim ćelijama mezofila (Yamasaki et al., 1997; Smith and Markham, 1998). Biosinteza i akumulacija flavonoida u ćelijama mezofila je bila zabeležena kod *Oenothera stricta* (Robberecht and Caldwell, 1983) i *Avena sativa* (Knogge and Weissenbock, 1986).

Chandronitha et al. (2010) su kod *Camellia sinensis* utvrdili da velika količina tanina smanjuje **toksičnost As**. Moguće je da povećana količina rastvornih fenola u listovima svih ispitivanih biljaka na deponiji pepela posledica visokih koncentracija As.

Cervilla et al. (2012) su kod *Solanum lycopersicum* u prisustvu **visokih koncentracija B** izmerili veliku količinu ukupnih fenola i flavonoida. Takođe, Chamacho-Cristobal et al. (2002) su kod *Nicotiana* sp. ustanovili da je u uslovima toksičnih koncentracija B, količina fenola povećana. Slično rezultatima drugih autora, povećana količina fenola u listovima biljaka pasivnih kaseta deponije pepela može biti rezultat visokih koncentracija B. Pojedini *o*-difenoli, kao što su kafeinska kiselina i hidroksiferulinska kiselina koji predstavljaju važne prekursore biosinteze lignina kod dikotiledonih biljaka (McClure, 1976) poseduju *cis*-diol konfiguraciju, te formiraju stabilne borat komplekse u ćelijskim zidovima. Prema Pilbeam and Kirkby (1983)

formiranje borat kompleksa sa određenim fenolima (katehol borat kompleks) je važno u regulaciji nivoa slobodnih fenola i brzine sinteze fenol alkohola, kao prekursora biosinteze lignina.

U uslovima **deficita Cu**, i visokog saliniteta kod *Rosmarinus officinalis* L. bila je izmerena visoka koncentracija ukupnih fenola, što se slagalo sa našim rezultatima. Pri deficitu Cu kod *Triticum aestivum* L. utvrđen je veći sadržaj fenolnih kiselina i ferulinske kiseline u ćelijskim zidovima, a manji sadržaj *p*-kumarinske kiseline i lignina (Robson et al., 1981). S obzirom na to da Cu ulazi u sastav enzima diamin oksidaze koja isporučuje H_2O_2 peroksidazama u procesu lignifikacije (Angelini et al., 1990), kao i enzima polifenol oksidaza (PPO) koje su takođe uključene u biosintezu lignina (Marschner, 1995), pri njegovom deficitu smanjuje se i aktivnost ovih enzima. Međutim, uprkos manjoj količini Cu u listovima, pre svega kod *C. epigejos*, *F. rubra* i *D. glomerata* na pasivnim kasetama, količina VF je bila povećana.

Prema Marschner (1995) **Mn** aktivira enzim PAL (L-pheyloalanine ammonia-lyase), stimuliše peroksidaze koje su neophodne u biosintezi lignina, učestvuje u biosintezi tirozina i flavonoida, te pri njegovom deficitu takođe, dolazi do smanjenja lignifikacije i produkcije flavonoida. **Deficit Zn** dovodi do povećanja količine fenola kod *Brassica oleracea* (Hajiboland and Amirazad, 2010) i *Citrus* sp. (Manthey et al., 2000).

Rezultati u ovoj studiji su pokazali da kod svih ispitivanih biljaka koje rastu na deponiji pepela TENT-A u Obrenovcu toksične koncentracije As, a deficitarne Zn bi mogle da utiču na povećanje količine SF u listovima. Sadržaj toksičnih koncentracija B u listovima *F. rubra* i *D. glomerata* na K3, a *O. biennis* na K3 i K2, može značajno da utiče na povećanje količine VF koji formiraju borat komplekse u ćelijskim zidovima ovih biljaka. Deficit Cu, Mn i Zn kod *C. epigejos*, *F. rubra*, *D. glomerata* i *O. biennis* na deponiji pepela TENT-A u Obrenovcu bi trebalo da utiče na smanjivanje količine VF. Međutim, uprkos tome, količina VF u listovima ovih biljaka nije bila smanjenja. Prema Santos et al. (2011) balans između elementa, kao što su Cu, Zn i Mn može da utiče na kompeticiju između različitih klasa fenolnih jedinjenja.

Pokazano je da kod *C. epigejos*, *F. rubra* i *D. glomerata* sezona ima veći uticaj od staništa na količinu fenola (SF, VF i UF) u listovima, za razliku od *O. biennis*. Najveća količina fenola (SF i VF) u listovima *C. epigejos* (K3 i K2), *F. rubra* (K2) i *D. glomerata* (VF na K3) je bila u proleće, kada ove biljke započinju svoj rast, a smanjuje

se tokom leta, što može da ukaže da sve tri vrste poseduju karakteristiku da tokom letnjeg perioda smanjuju nivo biosinteze ovih fenola, a verovatno povećavaju aktivnost drugih komponenti antioksidativnog sistema, kao odgovor na sušu i visoke temperature. Prema Foyer and Noctor (2005) biljke se adaptiraju na manje količine pojedinih antioksidanata signalnom indukcijom drugih protektivnih sistema. Međutim, na K3, vrste *F. rubra* (SF i VF) i *D. glomerata* (SF) tokom leta povećavaju sintezu fenola u listovima ukazujući na njihov potencijal aktivacije antioksidativnih mehanizama zaštite tokom nepovoljnog perioda godine.

Na **kontrolnim staništima** i **deponiji pepela TENT-A u Obrenovcu**, spontano kolonizovana vrsta ***O. biennis*** se odlikuje najvećom količinom SF (K_{Bk} i K2), VF i UF (K_{Bk}, K3 i K2) u listovima u odnosu na ostale vrste, što se podudara sa visokom fotosintetičkom efikasnošću, naročito na deponiji pepela, ukazujući na potencijalnu efikasnu antioksidativnu ulogu fenola u zaštiti metaboličkih procesa i funkcionalnih molekula. Vrsta ***O. biennis*** u svojim listovima na deponiji pepela ima preko 10 puta veću količinu VF u odnosu na ostale vrste, što ukazuje na intezivnu sintezu *o*-difenola za koje se vezuju velike količine B, formirajući na taj način stabilne komplekse u ćelijskom zidu. Vrsta ***F. rubra*** se karakteriše nešto manjom količinom SF na K2, a VF i UF na svim staništima u odnosu na *O. biennis*, ukazujući da kod ove vrste fenoli mogu da imaju značajnu ulogu u održavanju količine pigmenata i efikasnosti fotosinteze.

6.7.2. Sadržaj askorbinske kiseline (AsA) u listovima biljaka

Askorbinska kiselina (AsA), askorbat ili vitamin C je mali molekul koji se nalazi u svim tkivima biljaka, izuzev u suvim semenima (Smirnoff, 2005). Prisutan je u ćelijama korena i listova u vidu askorbat anjona, koji gubitkom elektrona produkuje MDHA radikal (monodehidroaskorbat radikal), a koji daljom oksidacijom formira DHA (dehidroaskorbat). **Askorbat** funkcioniše kao: 1) antioksidant, 2) kofaktor enzima, 3) učestvuje u transportu elekrona, 4) prekursor je sinteze oksalata i tartarata (Smirnoff, 1996; Smirnoff, 2005). Samim tim ima važnu ulogu u fotoprotekciji, izgradnji ćelijskog zida, kontroli ćelijskog rasta i generalno u otpornosti biljaka na stresne faktore sredine (Smirnoff and Wheeler, 2000). Askorbat reaguje direktno sa ROS ($O_2^{\cdot-}$, $OH^{\cdot}$, $^1O_2$) i smanjuje njihov efekat na metaboličke procese. **Sinteza zeaksantina** je katalizirana

enzimom violaksantin de-epoksidazom koji za svoju aktivnost zahteva askorbat kao **ko-faktor** (Smirnoff, 2005). AsA učestvuje u regeneraciji α-tokoferola (**vitamin E**), tako što donira elektron α-tokoferol radikalu. **Ko-faktor je enzima hidroksilaza** koje imaju važnu ulogu u izgradnji **ćelijskog zida** (De Tullio et al., 1999). Nekoliko **enzima** ovog tipa je, takođe uključeno u **sintezu flavonoida** (antocijanidin sintaza, flavon-3-hidroksilaza, flavonol sintaza, flavon sintaza) (Smirnoff and Wheeler, 2000; Page et al., 2012). AsA ima ulogu u **deobi i rastu ćelija**, tako što inhibira aktivnost peroksidaza, reaguje sa **monolignol radikalima**, i sprečava povezivanje fenola sa glikoproteinima u ćelijskom zidu (Takahama and Oniki, 1997).

Rezultati istraživanja su pokazali da je količina AsA u listovima kod svih ispitivanih biljaka na deponiji pepela TENT-A u Obrenovcu bila veća u odnosu na kontrolna staništa (Slika 102). Povećanje količine AsA u listovima biljaka koje rastu na deponiji pepela u odnosu na kontrolna staništa predstavlja odgovor na oksidativni stres izazvan nepovoljnim uslovima na pepelištu. Generalno, količina **AsA** u biljkama može da bude veća ili manja u zavisnosti od vrste biljaka, tipa i inteziteta stresa (Jubany-Mari et al., 2010).

Tako se kod *Triticum aestivum* sa povećanjem **vodnog deficita** smanjuje količina AsA u listovima (Sairam and Srivastava, 2001), što je bilo u saglasnosti sa našim rezultatima. Međutim, kod *Cistus albidus* količina AsA se povećava u uslovima suše (Jubany-Mari et al., 2009).

Visoke koncentracije As u listovima utiču na povećanje količine AsA kod *Cucumis sativus* (Czech et al., 2008), *Albizia procera* (Pandey and Tripathi, 2011) i *Shorea robusta* (Pandey et al., 2011). Slično je bilo pokazano kod svih ispitivanih biljaka na pasivnim kasetama deponije pepela.

Eraslan et al. (2007) su zabeležili povećanje količine AsA listovima *Daucus carrota* u uslovima **visokih koncetracija B** i NaCl, što je takođe bilo u skladu sa dobijenim rezultatima. Međutim, drugi autori su utvrdili da se količina AsA smanjuje u prisustvu toksičnih koncentracija B u listovima *Daucus carrota* (Singh et al., 2012) i *Solanum lycopersicum* (Cervilla et al., 2012). Han et al. (2009) su dobili da visoke koncentracije B smanjuju količinu AsA, a povećavaju aktivnost APx.

Deficit Mn kod *Mentha piperita* dovodi do smanjenja količine AsA u listovima (Candan and Tarhan, 2011). Slično, sadržaj AsA u listovima *Pistacia vera* je bio manji pri **deficitu Zn** u kombinaciji sa visokim nivoima NaCl (Tavalliali et al., 2010). Suprotno rezultatima drugih autora, naši rezultati su pokazali da se u uslovima nedostatka Mn i Zn povećava količina AsA.

Generalno, veća količina AsA u listovima ispitivanih biljaka na deponiji pepela u odnosu na kontrolna staništa, bi mogla da ukaže na fiziološki značaj AsA kao antioksidanta, fotoprotektanta i regulatora procesa fotosinteze i lignifikacije ćelijskih zidova.

Kod ***C. epigejos* na K3**, visoke koncentracije AsA u listovima bi mogle da utiču na smanjenje količine MDA preko regeneracije α-tokoferola koji učestvuje u zaštiti membrana od ROS, tako što donira elektron α-tokoferol radikalu. Veća količina AsA u listovima ove vrste bi mogla da dovede do povećane količine SF, što je u saglasnosti sa dobijenim rezultatima. Naime, AsA je ko-faktor je enzima hidroksilaza koje su uključene u sintezu flavonoida (antocijanidin sintaza, flavon-3-hidroksilaza, flavonol sintaza, flavon sintaza) (Smirnoff and Wheeler, 2000; Page et al., 2012). Toksične koncentracije As dovode po povećane količine ROS, koje AsA može direktno da uklanja. Međutim, kod *C. epigejos* na K3, fotosintetička efikasnost i količina hlorofila je bila niska, što ukazuje na značajan oksidativni stres i količinu AsA koja je bila nedovoljna za fotoprotekciju PSII.

Kod ***F. rubra* na K3,** povećana količina AsA može da ima ima značajnu ulogu u akumulaciji antocijana i flavonoida, jer je ko-faktor enzima koji učestvuju u biosintezi antocijana i flavonoida. Toksične koncentracije As i B, kao i deficitarne količine Cu i Zn u listovima *F. rubra* na K3 povećavaju oksidativni stres kroz povećanje ROS. Fotosintetička efikasnost je kod ove vrste bila niska, što ukazuje na visok oksidativni stres i količinu AsA koja je takođe bila nedovoljna da spreči fotoinhibiciju PSII.

Kod ***D. glomerata* na K3**, povećana količina SF i VF u listovima ove vrste bi mogla da ukaže da AsA u citoplazmi, kao ko-faktor može da utiče na sintezu enzima pojedinih flavonoida, kao i to da ta količina ne inhibira sintezu lignina. Međutim, velika količina MDA produkta, mala količina hlorofila, ukupnih karotenoida i antocijana, kao i niska fotosintetička efikasnost bi mogle da ukažu da usled visokog oksidativnog stresa, izmerena količina AsA ne utiče značajno na zaštitu membrana ćelija i protekciju PSII.

Kod ***O. biennis* na K3**, manja količina MDA, a veća VF u listovima, može da ukaže da visoke koncentracije AsA mogu da zaštite membrane ćelija od ROS. Količina Tot Carot je u listovima *O. biennis* na K3 bila veća u odnosu na K2 i K_{Bk}, što ukazuje da AsA ima značajnu ulogu u ksantofil ciklusu, kao ko-faktor za enzim violaksantin de-epoksidazu koja katalizira sintezu zeaksantina (Smirnoff, 2005). Međutim, uprkos većoj količini AsA u listovima ove vrste na K3, količina hlorofila i fotosintetička efikasnost je bila manja u odnosu na K_{Bk}.

Na **K2**, *C. epigejos, F. rubra* i *O. biennis* se odlikuju nešto manjom količinom AsA u listovima u odnosu na K3, ali i visokom fotosintetičkom efikasnošću, što ukazuje na trošenje AsA u zaštiti PSII. Prema Mano et al. (1997) askorbat može da ublaži inaktivaciju reakcionih centara PSII, tako što deluje kao alternativni donor elektrona. Askorbat sprečava oštećenja D1 proteina, tako što donira elektrone do Tyr_Z^+ i $P680^+$ (Toth et al., 2009; Toth et al., 2011). Za održavanje transporta elektrona od AsA do PSII vrlo je važan sistem regeneracije askorbata, te nakon doniranja elektrona, oksidovan askorbat se vrlo brzo regeneriše preko Halliwell –Asada ciklusa do svoje redukovane forme (Potters et al., 2002). Međutim, protekcija PSII zavisi od veličine oštećenja, koncentracije AsA i brzine njegove regeneracije (Mano et al., 1997) i prema Toth et al. (2009) afinitet PSII za askorbat se razlikuje između vrsta.

Rezultati su pokazali da na količinu AsA u listovima spontano kolonizovanih vrsta *C. epigejos* i *O. biennis* sezona ima veći uticaj od staništa. Sadržaj AsA u listovima se povećavao tokom sezone, što bi moglo da ukaže da tokom leta ove biljke aktivno sintetišu AsA, kao odgovor na visoke temperature i sušu.

Na **kontrolnim staništima i deponiji pepela TENT-A u Obrenovcu**, spontano kolonizovana vrsta ***O. biennis*** se odlikuje najvećom količinom AsA u listovima u odnosu na ostale vrste, što se podudara sa visokom fotosintetičkom efikasnošću (K2) i količinom Tot Carot (K3), ukazujući na ulogu AsA u zaštiti fotosintetičkog aparata na oksidativni stres. Takođe, na K3, sejana vrsta *F. rubra* ima veću koncentraciju AsA u listovima u odnosu na *C. epigejos* i *D. glomerata*, što može da ukaže na visok potencijal akumulacije AsA i njegovu protektivnu ulogu, što se podudara sa većom količinom antocijana i VF u listu.

6.7.3. Ukupna DPPH antioksidativna aktivnost u listovima biljaka

Antioksidativni sistem je zaštitni sistem biljaka koji uklanja ili sprečava formiranje ROS u uslovima oksidativnog stresa i održava metabolički i strukturni integritet organizama (Gill and Tuteja, 2010). **DPPH** (1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl) je slobodni radikal koji ima nesparen elektron na jednom atomu N (Eklund et al., 2005). Koristi se za procenjivanje antioksidativne aktivnosti jedinjenja koja imaju sposobnost da daju H i uklone slobodne radikale (Brand-Williams et al., 1995; Molyneux, 2004). Pojedini antioksidanti mogu biti rastvorni u vodi ili u lipidima, dok su neki nerastvorni ili vezani za ćelijski zid biljaka, te reaguju sa DPPH radikalom različitom kinetikom, zbog čega su Brand-Williams et al. (1995) uveli termin $EC_{50,}$ koji predstavlja efikasnu koncentraciju antioksidativnih jedinjenja u organskom substratu koji uzrokuje 50% redukcije DPPH radikala. Neka jedinjenja reaguju veoma brzo sa DPPH radikalom, smanjujući njihov broj, što zavisi od broja raspoloživih OH grupa (Bondet et al., 1997). Ako antioksidativni molekul ima dve OH grupe, kao askorbinska kiselina, onda je odnos 2:1, odnosno 1 molekulul askorbinske kiseline redukuje 2 DPPH radkala. Kumarinska i vanilinska kiselina reaguju vrlo sporo sa DPPH radikalom (odnos < 1), ferulinska kiselina ima jednu OH grupu i prema tome redukuje jedan DPPH molekul (1:1), dok protokatehinska, kafeinska i galna kiselina imaju visoku antioksidativnu aktivnost (odnos je 3:1; 4:1; 6:1) (Brand Williams et al., 1995). DPPH metod nije specifičan za određenu antioksidativnu komponentu, već podrazumeva ukupnu antioksidativnu aktivnost uzorka, te merenje ukupnog antioksidativnog kapaciteta ima značaja u razumevanju funkcionalnih karakterikstika biljaka (Prakash, 2001; Kedare and Singh, 2011).

Rezultati istraživanja su pokazali da je ukupna DPPH antioksidativna aktivnost u listovima *C. epigejos* i *O. biennis* bila veća, kod *F. rubra* slična, a kod *D. glomerata* manja na deponiji pepela uTENT-A u Obrenovcu u odnosu na kontrolna staništa (Slika 104).

U listovima ***C. epigejos*** na K3 ukupna DPPH antioksidativna aktivnost i količina antocijana je bila slična, a količina SF, VF i AsA veća u odnosu na K_{Ko}. Istovremeno, fotosintetička efikasnost, količina hlorofila i karotenoida je bila manja na K3 u odnosu

na K_{Ko}. Dobijeni rezultati ukazuju da kod ove vrste i pored prisustva određene količine ne-enzimskih komponenti antioksidativnog sistema (antocijani, fenoli i AsA), izmerena ukupna DPPH antioksidativna aktivnost u listovima na K3 nije bila dovoljna da smanji fotoinaktivaciju PSII, ukazujući na visok oksidativni stres i osetljivost fotosintetičkog aparata, izazvan toksičnim koncentracijama As, i deficitom Cu, Zn i Mn u listovima. Takođe, deficit Cu i Zn je mogao naročito da utiče na smanjenje količine Cu/ZnSOD u hloroplastima, enzima neophodnog u dismutaciji $O_2^{\cdot -}$ radikala koji nastaje u procesu fotosinteze.

Kod ***F. rubra*** na K3 je bila izmerena manja DPPH antioksidativna aktivnost u odnosu na K_{Bb}. Iako je količina pojedinih komponenti antioksidativnog sistema (SF, VF, antocijani i AsA) bila veća u listovima ove vrste na K3 nego na $K_{Bb,}$ ona nije bila dovoljna da smanji oštećenja membrana (velika produkcija MDA produkta), funkcionalnih molekula, kao što su hlorofili i karotenoidi, kao i oštećenja fotosintetičkog aparata PSII. Kod ove vrste na K3, visok oksidativni stres verovatno izazvan toksičnim koncentracijama As i B je doveo do smanjenja antioksidativnog kapaciteta.

Kod ***D. glomerata*** na K3 bila je izmerena manja ukupna DPPH antioksidativna aktivnost u odnosu na K_{Ko}. Povećana količina AsA, SF i VF u listovima ove vrste na K3 nije bila dovoljna da smanji peroksidaciju lipida membrana, kao ni oštećenja funkcionalnih molekula (hlorofila, karotenoida i antocijana), i fotosintetičkog aparata PSII. Rezultati mogu da ukažu da toksične koncentracije As i B, a deficitarne Cu, Mn i Zn u listovima potencijalno smanjuju antioksidativni kapacitet *D. glomerata* i njegovu tolereanciju na stres.

Vrsta ***O. biennis*** se odlikuje visokom ukupnom DPPH antioksidativnom aktivnošću, kao i visokim koncentracijama AsA i VF u listovima na K3 u odnosu na K_{Bk}. Međutim, uprkos tome, fotosintetička efikasnost i količina hlorofila je bila manja na K3 nego na K_{Bk}, što može da ukaže na povećanu produkciju ROS usled prisustva toksičnih koncentracija As i B, a deficitarnih koncentracija Mn i Zn.

Na K2, u listovima ***C. epigejos*** **i** ***F. rubra*** ukupna antioksidativna DPPH aktivnost je bila veća, a kod ***O. biennis*** slična sa K3, što se podudara sa njihovom relativno visokom fotosintetičkom efikasnošću, što može da ukaže da ove biljke tokom godina razvijaju mehanizme tolerancije na oksidativni stres. Regulacija ćelijskog antioksidativnog

potencijala i održavanje redoks homeostaze je veoma važna za opstanak biljaka u uslovima stresa (Gill and Tuteja, 2010). Visoka DPPH antioksidativna aktivnost kod ovih biljaka na K2 ukazuje na povećanu aktivnost enzimskih i ne-enzimskih komponenti antioksidativnog sistema koji inaktiviraju ROS. Od ne-enzimskih komponenti kod *C. epigejos* i *F. rubra* na K2 dominiraju SF, VF i AsA, a kod *O. biennis* to su SF i AsA.

Rezultati u ovoj studiji su pokazali da **fenolna jedinjenja** i **AsA** imaju značajnu ulogu u antioksidativnom odgovoru ispitivanih biljaka na stres. Zato je radi poređenja bila određivana ukupna antioksidativna DPPH aktivnost pojedinačnih fenola, njihove mešavine i askorbinske kiseline. Izmerena DPPH antioksidativna aktivnost se kretala sledećim redosledom: mešavina fenola > ferulinska kiselina > siringinska kiselina > askorbinska kiselina > *p*-kumarinska kiselina > vanilinska kiselina (Tabela 102).

Tabela 102. Antioksidativna aktivnost (DPPH metod) pojedinačnih fenola, mešavine fenola i askorbinske kiseline.

Antioksidanti	$EC_{50\%}$
Ferulinska kiselina	**0.091**
Siringinska kiselina	0.179
p-kumarinska kiselina	3.632
Vanilinska kiselina	5.445
Mešavina fenola	**0.037**
Askorbinska kiselina	**0.364**

DPPH antioksidativna aktivnost fenolnih jedinjenja zavisi od broja i pozicije hidroksilnih (OH) grupa i metoksi (-OCH_3) substituenata (Cai et al., 2006). Prema istim autorima, hidroksil i metoksi grupe hidrocinamičnih kiselina (HCAs: *p*-kumarinska kiselina, ferulinska kiselina, kafeinska kiselina, hlorogena kiselina) su više efikasne u vezivanju slobodnih radikala nego hidroksil i metoksi grupe hidroksibenzoevih kiselina (siringinska kiselina, vanilinska kiselina, protokatehinska kiselina, galna kiselina). Generalno, Rice-Evans et al. (1996) su utvrdili da prisustvo – CH = CH – COOH grupa HCAs doprinose većoj sposobnosti doniranja H i stabilizaciji slobodnog radikala nego - CH_2 – COOH grupe hidroksibenzoevih kiselina. Rezultati u ovoj studiji su pokazali da *p*-kumarinska kiselina (4-OH) i vanilinska kiselina (4-OH i 3-OCH_3) imaju manju DPPH antioksidativnu aktivnost od ferulinske kiseline (4-OH i 3-OCH_3) i siringinske kiseline (4-OH i 3,5-OCH_3). Lignani prisutni u slobodnoj formi ili kao glikozidi pokazuju manju antioksidativnu aktivnost od flavonoida, jer nemaju *ortho*-dihidroksi

strukturu (Cai et al., 2006). Cai et al. (2006) su utvrdili da **flavonoidi** sa *ortho*-dihidroksi strukturom u A ili B prstenu, 3-OH grupa ili 3-galoil grupa u C prstenu, kao i 2,3 duple veze u konjugaciji sa 4-okso (karbonil grupe) u C prstenu pokazuju najveći kapacitet vezivanja slobodnih radikala. Tako se prema istim autorima, antioksidativna aktivnost smanjuje sledećim redosledom: flavanoli (flavan-3-oli, kao što su: tanini; epigalokatehin galat; katehin) > flavonoli (miricetin; kvercetin) > halkoni (butein) > flavoni (luteolin; apigenin; glikozidi) > flavanoni (naringein). Procianidini mogu da imaju i do 15 OH grupa, galotanini i elagitanini i do 11 OH grupa zajedno sa 3-OG (galoil) grupom (Cai et al., 2006). Motlhanka et al. (2008) su pokazali da askorbinska kiselina i flavonoidi imaju visoku antioksidativnu aktivnost. Prema Lee et al. (2003) flavonoidi imaju veću ukupnu DPPH antioksidativnu aktivost od askorbinske kiseline, a sličnu sa hlorogenom kiselinom. Rezultati u ovoj studiji su pokazali da mešavina fenola ima najveću atioksidativnu aktivnost, ukazujući na sinergističko delovanje fenolnih jedinjenja, a da AsA ima veću DPPH aktivnost od *p*-kumarinske i vanilinske kiseline, što je u saglasnosti sa rezutatima drugih autora.

Ukupna DPPH antioksidativna aktivnost u listovima *D. glomerata* je pokazala da sezona ima veći uticaj od staništa, za razliku od ostalih biljaka. Ona je bila najveća u julu, što bi moglo da ukaže da ova vrsta tokom leta ima pojačan antioksidativni odgovor na visoke temperature i sušu.

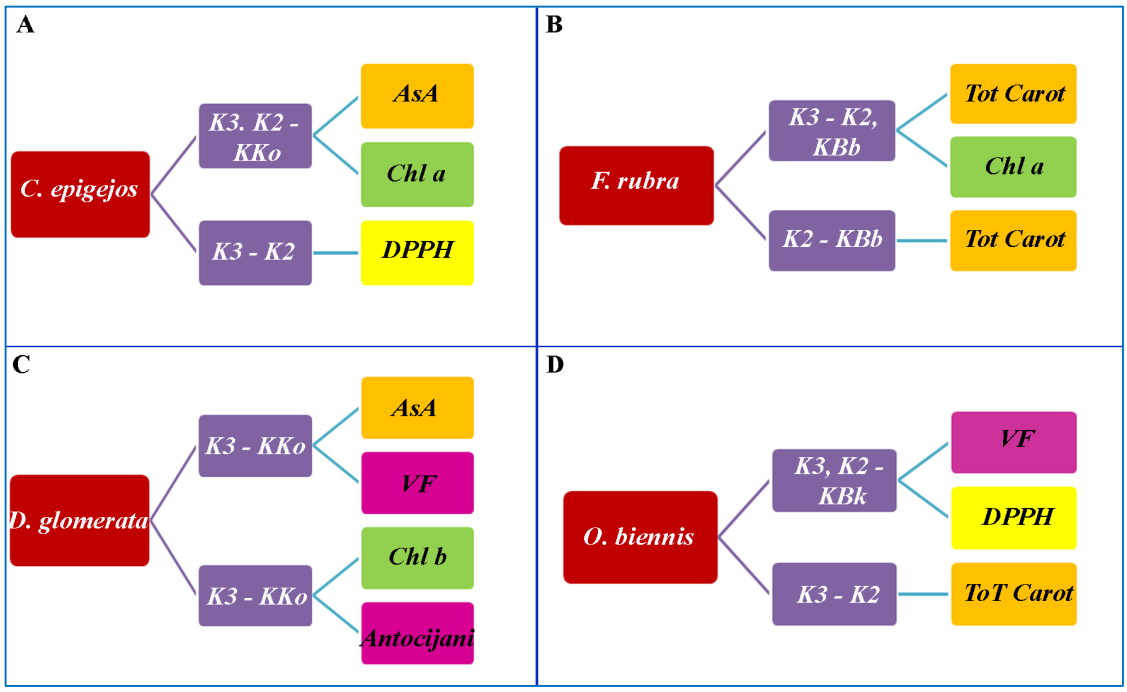
Rezultati su pokazali da je na **kontrolnim staništima** i **deponiji pepela TENT-A u Obrenovcu** vrsta ***O. biennis*** je pokazala najveću ukupnu DPPH antioksidatvnu aktivnost, što ukazuje da ova vrsta poseduje najveći potencijal biosinteze antioksidativnih jedinjenja i molekula, kao i visoku toleranciju na stres. Na **K3**, vrsta *C. epigejos* se odlikuje većim ukupnim DPPH antioksidativnim kapacitetom u odnosu na *F. rubra* i *D. glomerata*, što ukazuje da je ova biljka sposobna da u uslovima visokog oksidativnog stresa sintetiše antioksidativna jedinjenja koja smanjuju količinu ROS.

6.8. Ukupan biohemijski odgovor listova ispitivanih biljaka na stres

Vrsta ***C. epigejos*** se na K3 i K2 razlikuje od kontrolnog staništa (K_{Ko}) po manjim koncentracijama Chl *a*, a većim AsA (Slika 139 A), ukazujući da stresni uslovi sredine, naročito na K3, sa jedne strane najviše utiču na osetljivost molekula Chl *a* koji ulazi u sastav reakcionog centra PSII, što dovodi do smanjene fotosintetičke efikasnosti, a sa druge strane utiču na aktiviranje antioksidantnog mehanizma zaštite i to najviše na pojačanu sintezu AsA. Poredeći deponije pepela različite starosti, bilo je utvrđeno da se *C. epigejos* na K2 najviše razlikuje od K3 po većoj ukupnoj DPPH antioksidativnoj aktivnosti (Slika 139 A). Rezultati ukazuju da na K2, *C. epigejos* poseduje visok potencijal aktivacije zaštitnih mehanizama u uslovima izrazitog oksidativnog stresa. Ova spontano kolonizovana vrsta tokom vremena postepeno uspostavlja redoks balans kroz sintezu većeg broja antioksidativnih jedinjenja koja smanjuju količinu ROS, što dovodi do povećane efikasnosti fotosinteze na K2.

Vrsta ***F. rubra*** se na K3 razlikuje od kontrolnog staništa (K_{Bb}) po manjim koncentracijama Chl *a* i Tot Carot, a na K2 samo po manjim koncentracijama Tot Carot (Slika 139 B), što ukazuje na veliku osetljivost pigmenata na oksidativni stres na deponijama pepela različite starosti. Manja količina hlorofila i karotenoida na K3 se podudara sa manjom fotosintetičkom efikasnošću, dok na K2 uprkos manjoj količini Tot Carot, efikasnost fotosinteze je bila povećana. Vrsta *F. rubra* se na K2 najviše razlikuje od K3 po većim koncentracijama Chl *a* (Slika 139 B), što bi se moglo objasniti posedovanjem specifičnog mehanizma održavanja količine Chl *a* u uslovima toksičnih koncentracija As, kao i deficita Cu, Mn i Zn.

Vrsta ***D. glomerata*** se na K3 razlikuje od kontrolnog staništa (K_{Ko}) po manjim koncentracijama Chl *b* i antocijana (Slika 139 C), što ukazuje na njihovu veću osetljivost na oksidativan stres, što se podudara sa većom produkcijom MDA i niskom fotosintetičkom efikasnošću. Međutim, rezultati su pokazali da uprkos toksičnim koncentracijama As i B, a deficita Cu, Mn i Zn u listovima, vrsta *D. glomerata* je sposobna da aktivira mehanizme antioksidativne zaštite u vidu povećanja količine VF i AsA (Slika 139 C).



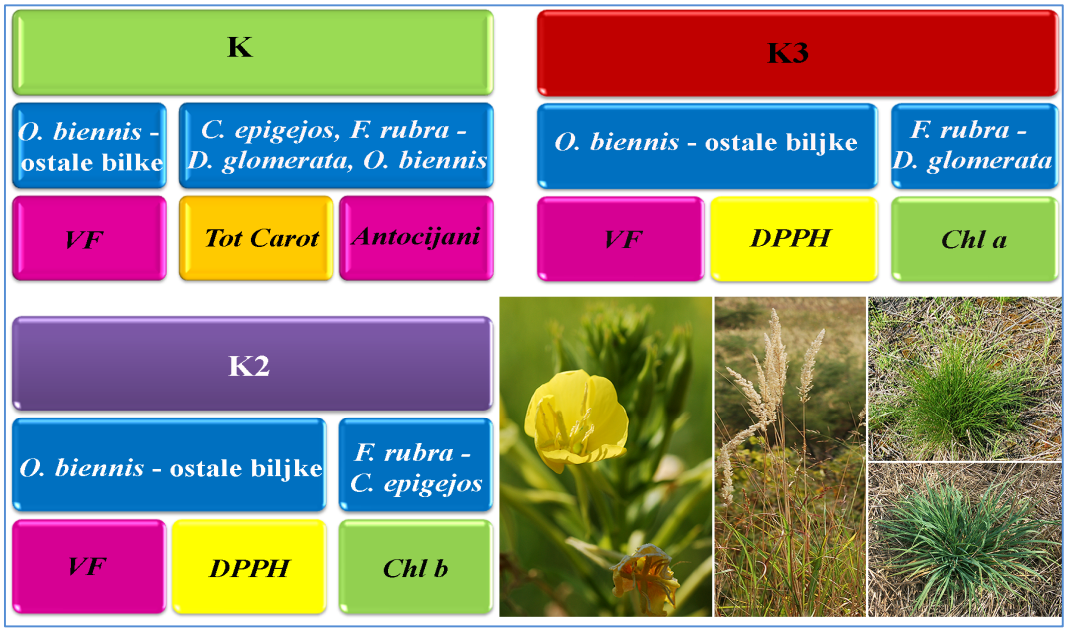
Slika 139. Razlike u biohemijskih parametrima u listovima *C. epigejos, F. rubra*, *D. glomerata* i *O. biennis* između različitih staništa.

Vrsta ***O. biennis*** se na K3 i K2 razlikuje od kontrolnog staništa (K_{Bk}) po značajno većoj količini VF, kao i većoj ukupnoj DPPH antioksidativnoj aktivnosti u listovima (Slika 139 D), što ukazuje da ova vrsta poseduje visok potencijal tolerancije i adaptacije na oksidativni stres. Rezultati su pokazali da se *O. biennis* na K3 najviše razlikuje od K2 po većoj koncentraciji Tot Carot u listovima (Slika 139 D), što ukazuje na mogućnost efikasne sinteze ovih pigmenata u uslovima intezivnog stresa.

Na **kontrolnim staništima,** najviše se razlikuje *O. biennis* od ostalih biljaka po većoj količini VF u listovima (Slika 140). Rezultati su pokazali da se *C. epigejos* i *F. rubra* razlikuju po manjoj količini Tot Carot u listovima u odnosu na *D. glomerata* i *O. biennis*. Takođe, *D. glomerata* ima najveću količinu antocijana u listovima. Ove biljke se na kontrolnim staništima međusobno najviše razlikuju po količini pigmenata u listovima.

Na **K3**, spontano kolonizana vrsta *O. biennis* se razlikuje od ostalih biljaka, ne samo po većoj količini VF, već i po ukupnoj DPPH antioksidativnoj aktivnosti (Slika 140). Generalno, pri nepovoljnim uslovima stresa koji vladaju na deponiji pepela, ova vrsta se u odnosu na ostale biljke odlikuje najvećim potencijalom biosinteze antioksidativnih jedinjenja, koja smanjuju oštećenja membrana ćelija i karotenoida, što se podudara sa

najvećom fotosintetičkom efikasnošću. Na K3, vrsta *D. glomerata* se razlikuje od *F. rubra* po većoj količini Chl *a* (Slika 140). Uprkos tome što je kod obe vrste izmerena niska efikasnost fotosinteze, moguće je da *D. glomerata* poseduje neki mehanizam koji održava visok nivo količine Chl *a* u uslovima stresa.



Slika 140. Razlike u biohemijskih parametrima u listovima između *C. epigejos, F. rubra*, *D. glomerata* i *O. biennis* na različitim staništima.

Na **K2** se takođe, *O. biennis* izdvaja od ostalih biljaka po najvećoj količini VF i ukupnoj DPPH antioksidativnoj aktivnosti (Slika 140), što ukazuje da tokom vremena ova vrsta u kontinuitetu aktivira i održava biosintezu antioksidativnih jedinjenja, koja smanjuju količinu ROS i omogućavaju redoks homeostazu ćelija, što na kraju utiče na povećavanje fotosintetičke efikasnosti. Na K2, vrsta *F. rubra* se razlikuje od *C. epigejos* po većoj količini Chl *b* (Slika 140), što ukazuje njegovu manju osetljivost na stres.

6.9. Morfološke karakteristike listova ispitivanih biljaka

6.9.1. Morfološki simptomi oštećenja listova biljaka

Morfološki simptomi oštećenja biljaka su najčešće izraženi u vidu hloroza i nekroza listova, kao i smanjenog rasta biljaka (Kabata – Pendias and Pendias, 2001; McCauley et al., 2009). Analiza koncentracija hemijskih elemenata u zemljištu i tkivima biljkama, kao i utvrđivanje fiziološko-biohemijskih promena (fotosinteza, količina hlorofila i antocijana) su neophodni u determinaciji i ranoj dijagnozi morfoloških simptoma deficita ili toksičnosti iz nekoliko razloga: 1) mnogi vidljivi simptomi oštećenja listova su slični za različite hemijske elemente (deficit Zn je sličan Mn ili Fe, a deficit Mn je sličan Mg); 2) istovremeno prisustvo deficita i/ili toksičnosti, ili deficit jednog elementa može da izazove toksičnost drugog (antagonizam između elemenata); 3) biljke se međusobno razlikuju po svojoj sposobnosti da se adaptiraju na deficit ili toksičnost (različita osetljivost biljaka); 4) vidljivi simptomi mogu biti slični onim vezanim za sušu, delovanje bakterija, insekata, uticaja herbicida i pesticida (pseudo deficit); 5) biljke uprkos deficitu ili toksičnostu u tkivima ne pokazuju vidljiva oštećenja („skrivena“ oštećenja); 6) simptomi biljaka u prirodi mogu, a ne moraju da budu isti onim opisanim u kontrolnim uslovima (odstupanje od „idealnih“ simptoma) (McCauley et al., 2009). Tokom sezone usled akumulacije fiziološko-biohemijskih oštećenja može doći do smanjene vitalnosti, rasta i produktivnosti biljaka, i ukoliko su te koncentracije suviše niske ili visoke dolazi do smrti biljke.

Listovi ***C. epigejos*** na **K3 i K2** pokazuju vidljive simptome oštećenja u vidu hloroza i nekroza. Analiza pepela na obe pasivne kasete je pokazala da je DTPA – dostupna frakcija As bila visoka, dok je dostupna količina Cu, Zn i Mn bila mala, što se podudara sa toksičnim koncentracijama As u listu ove vrste, a deficitom Cu, Zn i Mn. Tako, morfološke promene listova koje se javljaju kod *C. epigejos* mogu biti posledica istovremenog delovanja navedenih hemijskih elemenata. Mala količina hlorofila i niska efikasnost fotosinteze kod ove vrste takođe ukazuju na prisustvo hloroza listova. Hloroze svetlo zelene, žute i beličaste boje koje se javljaju od vrha lista i šire se postepeno duž cele površine mogu da odgovaraju siptomima oštećenja listova nastalim usled deficita Cu, Zn i Mn (Kabata – Pendias and Pendias, 2001; Futch and Tucker,

2011). Na pojedinim listovima prisutne su bile marginalne nekroze smeđe boje, koje bi mogle biti posledica toksičnih nivoa As, ali i deficita Cu (Kabata – Pendias and Pendias, 2001). Vršne nekroze listova *C. epigejos* mogu nastati usled deficita Zn i Cu (Futch and Tucker, 2011), a nekrotične mrlje smeđe boje prisutne sporadično na sredini lista mogu biti rezultat deficita Mn i Zn (McCauley et al., 2009; Futch and Tucker, 2011).

F. rubra na K3 je bila izložena visokim DTPA - dostupnim frakcijama As i B, kao i malim rastvornim količinama Cu i Zn, što se podudara sa toksičnim koncentracijama As i B u listovima, kao i nedostatkom Cu i Zn. Na K2, ova vrsta je dodatno bila bila izložena deficitu Mn. Simptomi oštećenja listova ove biljke na **K3** u vidu nekroza crvene, smeđe i crne boje koje se pružaju od vrha ka osnovi lista mogle bi se povezati sa toksičnim koncentracijama As i B, ali i sa nedostatkom Cu i Zn (Kabata – Pendias and Pendias, 2001). Hloroze žute boje na sredini listova mogle bi biti posledica delovanja Cu, Zn i B (McCauley et al., 2009). Na pojedinim listovima bili su uočeni beličasti vrhovi koji mogu biti rezultat deficita B i Zn (Kabata – Pendias and Pendias, 2001). Na **K2**, hloroze svetlo zelene i žute boje listova i nekroze crne i smeđe boje mogle bi dodatno da budu rezultat nedostatka Mn (Kabata – Pendias and Pendias, 2001). U busenovima *F. rubra* na K3 i K2, zapažen je veliki broj listova sa hlorozama žute boje ili su listovi suvi, što može biti posledica sinergističkog delovanja suše, toksičnih koncentracija As i B, a deficita Cu, Zn i Mn u listovima. Niska vitalnost i manja količina hlorofila u listovima *F. rubra* na deponiji pepela TENT-A u Obrenovcu u odnosu na kontrolno stanište dodatno ukazuje da je ova vrsta naročito u julu i avgustu bila izložena nepovoljnim faktorima sredine.

Vrsta ***D. glomerata*** na K3 je bila izložena visokim DTPA - dostupnim frakcijama As i B, kao i malim rastvornim DTPA količinama Mn, Zn i Cu, što se podudara sa toksičnim koncentracijama As i B u listovima, kao i deficitom Mn, Zn i Cu. Takođe, niska efikasnost fotosinteze i manja količina hlorofila u listovima ove vrste u odnosu na kontrolno stanište ukazuju da su stresni faktori sredine na deponiji pepela mogli da dovedu do pojave vidljivih oštećenja listova. Vršne nekroze listova crvene i smeđe boje mogu da budu posledica toksičnih koncentracija As (Kabata - Pendias and Pendias, 2001), dok hloroze žute boje koje se prostiru celom površinom lista mogu biti rezultat delovanja toksičnih koncentracija B i deficita Zn (Kabata - Pendias and Pendias, 2001). Takođe, intervenalne hlorotične mrlje, mogu da nastanu usled deficita Mn (McCauley et

al., 2009). Na listovima *D. glomerata* bile su zapažene intervenalne nekroze smeđe i crne boje koje bi mogle da odgovaraju toksičnim nivoima B u listu (McCauley et al., 2009).

Vrsta ***O. biennis*** na **K3** raste u uslovima visokih DTPA rastvornih frakcija As i B, a malih dostupnih količina Mn i Zn, što se podudara sa toksičnim koncentracijama As i B u listovima, a i deficitom Mn i Zn. Međutim, na K2, u listovima ove vrste nije registrovan nedostak Zn. Na **K3**, listovi *O. biennis* su bili tamno zelene boje sa marginalnim nekrozama smeđe boje, što može niti posledica toksičnog delovanja As i B (Kabata - Pendias and Pendias, 2001). Međutim, mnoge individue ove vrste imaju listove sa vršnim nekrozama smeđe boje, ispod kojih se hloroze žute boje šire celom površinom lista, i ta oštećenja mogu nastati usled deficita Zn i Mn (Kabata - Pendias and Pendias, 2001). Na **K2**, vidljiva oštećenja listova *O. biennis* su bila ista kao i na K3. Intervenalne hloroze listova ove vrste na K2 su verovatno posledica nedostatka Mn (Marschner, 1995; Kabata - Pendias and Pendias, 2001). Kod *O. biennis* količina hlorofila u listovima na deponiji pepela je bila značajno manja u odnosu na kontrolno stanište, što dodatno ukazuje da nedostatak hlorofila dovodi do pojave hloroza listova.

6.9.2. Struktura periferijske zaštite listova biljaka i SEM (EDS) analiza deponovanih čestica

Kutikula biljaka predstavlja glavnu barijeru između spoljašnje sredine i unutrašnjih tkiva (Koch and Ensikat, 2008; Prüm et al., 2012). Izložena je abiotičkim i biotičkim faktorima sredine, kao što su sunčevo zračenje, svetlost, temeperatura, vetar, kiša, mikroorganizmi, insekti i gljive (Kolattukudy et al., 1995; Kerstiens, 1996). Glavna fiziološka funkcija kutikule je zaštita od nekontrolisanog gubitka vode transpiracijom (Burgardt and Riederer, 2006), ali i smanjeno isticanje jona i polarnih organskih rastvora iz ćelija (Schönherr, 2001). Ima važnu ulogu u strukturnoj stabilizaciji epidermalnog tkiva (Matas et al., 2004). Depozicija čestica na površini listova biljaka zavisi od klimatskih uslova (pravac i brzina vetra, relativna vlažnost vazduha, količina padavina, temperatura), hemijskih osobina elemenata, veličine čestica i morfoloških karakteristika listova (Beckett et al., 1998; Sawidis et al., 2011). Obilne kiše i intezivan vetar mogu da dovedu do spiranja deponovanih čestica sa površine listova. Periodi sa povećanom vlažnošću vazduha, rosom, maglama, slabijim padavinama i vetrom slabijeg

inteziteta pogoduju nanošenju, zadržavanju i efikasnom vezivanju čestica za površine listova. Tada se deponovane čestice lakše rastvaraju i metali lakše apsorbuju kroz kutikulu ili stome u unutrašnja tkiva izazivajući funkcionalna oštećenja. Takođe, glatki listovi sa debelim slojem epikutikularnih voskova zadržavaju manju količinu čestica na površini za razliku od dlakavih listova ili listova sa neravnom površinom (Sawidis et al., 2001).

SEM analiza površinske strukture listova *C. epigejos, F. rubra, D. glomerata* i *O. biennis* je pokazala da se na površini listova biljaka na pasivnim kasetama TENT-A u Obrenovcu deponuje značajno veća količina čestica u odnosu na kontrolna staništa. Stepen depozicije čestica na površini listova biljaka zavisi od njihove strukture (Jamil et al., 2009).

Na površini listova ***O. biennis*** na deponiji pepela, uprkos glatkoj kutikuli, bila je detektovana najveća količina čestica pepela, usled prisustva trihoma i blago ispupčenih epidermalnih ćelija, između kojih se čestice i njihovi anglomerati zadržavaju. Uočena oštećenja kutikule u vidu lezija i erozija mogu biti posledica mehaničkog (abrazivnog) i hemijskog delovanja čestica. Prema Farmer (2002) kada su površine listova vlažne, stvara se vlažan film na površini, pri čemu dolazi do hemijskih reakcija i hemijski elementi koji ulaze u sastav čestica prolaze kroz kutikulu u tkiva listova, gde oštećuju ćelije epidermisa i mezofila. Usvajanje metala i drugih hemijskih elemenata koji se nalaze u česticama, zavisi od vlažnosti, temperature, vrste biljaka, strukture kutikule lista i tipa metala (Schönherr and Luber, 2001; Schreck et al., 2012).

Na površini listova ***C. epigejos*** na deponiji pepela bile su uočene mnogobrojne čestice smeštene između blago ispupčenih epidermalnih ćelija i oštrih kratkih trihoma. Deponovane čestice na površini listova mogu da dovedu do gubitka epikutikularnih kristala i blagih lezija kutikule i epidermisa.

Na površini listova ***D. glomerata*** na deponiji pepela bile su zapažene deponuju krupne čestice i agregati koje se zadržavaju između ispupčenih izduženih epidermalnih ćelija i oštrih kratkih trihoma. Međutim, kod ove vrste nisu bila uočena značajna oštećenja kutikule.

Najmanja količina čestica pepela bila je deponovana na površini listova ***F. rubra***. Blago ispupčene i izdužene ćelije epidermisa zadržavaju čestice na površini listova ove

vrste. Međutim, glatka kutikula omogućava ovoj vrsti da se čestice lakše spiraju padavinama ili odnose vetrom, zbog čega nisu bila detektovana oštećenja kutikule.

Jamil et al. (2009) su zabeležili da je veliki broj vrsta biljaka koje rastu u neposrednoj blizini termoelektrane u Indiji sposoban da deponuje čestice pepela na površini listova u zavisnosti od njihove površinske strukture (glatka, neravna, prisustvo trihoma, ispupčenja). Slično, Sawidis et al. (2011) su pokazali da listovi *Verbascum phlomoides* koji imaju veliki broj dugačkih trihoma deponuju veću količinu čestica poreklom iz termolektrane u Grčkoj, za razliku od *Rumex acetosa* koja se odlikuje glatkom kutikulom na koju se slabije vezuju i zadržavaju čestice. Prema Birbaum et al. (2010) i Uzu et al. (2010) anglomerati čestica se zadržavaju na površini epikutikularnih voskova i trihoma, dok se sitne čestice mogu uneti u list preko stoma ili erozijom kutikule, što je bilo u saglasnosti sa našim rezultatima.

SEM (EDS) analiza hemijskog sastava čestica na površini listova biljaka sa kontrolnih staništa je pokazala prisustvo sledećih hemijskih elemenata: C, O, Mg, Al, Si, K, Ca, Cl, Ti i Fe. U sastav čestica pepela deponovanih na površini listova ispitivanih biljaka ulaze isti hemijski elementi, ali je koncentracija O, Al, Si, Ca i Fe bila veća u odnosu na kontrolna staništa. Dodatno su bili detektovani Cu i Mo. Slično, Sawidis et al. (2011) su SEM (EDS) analizom elemenata deponovanih čestica pepela na površini listova *Verbascum phlomoides* i *Rumex acetosa* detektovali sledeće hemijske elemente: Mg, Al, Si, P, Cl, K, Ca, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn i Pb, pri čemu su koncentracije Al, Si, Ca, Mg, K i Fe bile najveće, što se poklapalo sa dobijenim rezultatima u ovoj studiji. Čestice na površini listova svojim delovanjem mogu da izazovu promene u fiziologiji listova, tako što povećavaju temperaturu lista, prolaze kroz stome ili ih mehanički potpuno ili delimično zatvaraju, što dovodi do poremećaja u fotosintetičkom i vodnom režimu biljaka i pojave nekroza listova (Farmer, 2002). Deponovane čestice smanjuju usvajanje CO_2, zbog čega se i smanjuje intezitet fotosinteze, a čestice koje blokiraju stome sprečavaju njihovo zatvaranje, te stalno otvorene stome sa jedne strane povećavaju usvajanje raznih toksičnih jona u unutrašnja tkiva, a sa druge strane dovode do vodnog stresa.

Generalno, rezultati su pokazali da **oštećenja kutikule i epidermisa** kod svih ispitivanih biljaka na deponiji pepela TENT-A u Obrenovcu **nisu bila velika**, iako se na površinama listova deponovala određena količina čestica pepela. U sastav čestica pepela

detektovana količina Fe, Al i Cu je mogla jednim delom da utiče na smanjenu permeabilnost vodenih rastvora u kome se nalaze ovi elementi ili različite soli. Naime, utvrđeno je da pri slabom vetru i oko 100 % relativne vlažnosti, Fe(III) helati se rastvaraju i propuštaju kroz kutikulu biljke (Schönherr et al., 2005). Međutim, pri relativnoj vlažnosti manjoj od 90% joni Cu^{2+}, Fe^{3+} i Al^{3+} stvaraju nerastvorne hidroksid komplekse na površini i smanjuju propustljivost kutikule za vodu i rastvorene soli (Schreiber, 2005; Schönherr et al., 2005). Isti autori su pokazali da se sa povećanjem koncentracije Fe helata smanjuje permeabilnost kutikule za $CaCl_2$ i samog Fe helata. Prema njima, ovi kompleksi smanjuju veličinu akvatičnih pora na taj način što se između hidroksid kompleksa Fe(III)(HOH)n i dipola pora ćelijskog zida (hidroksi, amino i karboksilne grupe) stvaraju vodonične veze, što dovodi do sporije difuzije Fe ili soli unutar akvatične pore. Akvatične pore se formiraju samo u prisustvu vode, te pri jakim kišama ili maglama, kutikula listova biljaka je permeabilna za vodene rastvore, dok pri suvom vazduhu te pore nestaju ili se skupljaju, a propustljivost za vodu se smanjuje (Yates and Huntley, 1995; Schönherr, 2006). Prema Schönherr (2006) površinska struktura listova može da bude manje oštećena ili čak neoštećena usled prisustva velikih jonskih molekula i jon-dipol interakcija.

SEM analiza +listova ***F. rubra*** je pokazala da ova vrsta na svojoj površini formira **silikatna tela**, što je karakteristično za rod *Festuca* (Ortunez and Cano-Ruiz, 2013). Prema Zhang et al. (2013) Si se deponuje u ćelijskim zidovima silika ćelija epidermisa listova. Lignifikovani i silifikovani ćelijski zidovi ovih ćelija mogu da funkcionišu kao matriks za depoziciju Si. U ćelijskim zidovima silika ćelija, Si se kombinuje sa Ca i kompleksima ugljeni hidrati - lignin (Inaga and Okasaka, 1995). Smatra se da su silikatna tela kompletno formirana kada su listovi potpuno razvijeni (Zhang et al., 2013). S obzirom na to da silicijum povećava otpornost biljaka na različite abiotičke i biotičke stresne faktore sredine (Kim et al., 2014), ublažava stres soli (Yeo et al., 1999) i uopšte povećava fitnes biljaka (Cooke and Leishman, 2011), može se pretpostaviti da i kod *F. rubra* koja raste na deponiji pepela TENT-A u Obrenovcu silikatna tela doprinose toleranciji ove vrste na nepovoljne uslove koji vladaju na pepelištu.

7. ZAKLJUČCI

► **Fitocenološka istraživanja deponije pepela TENT-A u Obrenovcu** su pokazala da na nasipima i unutrašnjosti pasivnih kaseta (K3 i K2) raste ukupno 122 biljne vrste. Unutar K3, nakon tri godine od početka biorekultivacionog procesa, bilo je zabeleženo 56 biljnih vrsta, a na K2, posle jedanaest godina, 88 biljnih vrsta. Broj biljnih vrsta se tokom vremena povećavao, što ukazuje da deponija pepela predstavlja prostor otvoren za nova naseljavanja. Na K3, najveću brojnost i pokrovnost su imale vrste koje su se nalazile u travno-leguminoznoj smeši, a to su: ***Festuca rubra, Dactylis glomerata,*** *Medicago sativa, Lotus corniculatus* i *Vicia villosa*. Međutim, na K2 su dominirale druge vrste biljaka, i to uglavnom one koje su spontano kolonizovale prostor deponije: ***Calamagrostis epigejos, Oenothera biennis****, Cirsium arvense, Festuca rubra, Crepis setosa* i *Erigeron canadensis*. Vrste familija *Asteraceae, Fabaceae* i *Poaceae* zauzimaju najveću površinu na K3 i K2. Izrazito nepovoljni uslovi za klijanje i rast biljaka na pepelu, kao i kompetativne interakcije između vrsta dovode do opstanka ili nestajanja određenih biljnih vrsta.

► **Fizičke karakteristike pepela** i **zemljišta** su pokazale sledeće: pepeo na K1 i K3 je peskovitog mehaničkog sastava, na K2 pripada tipu peskovite ilovače; zemljište na K_{Ko} se svrstava u praškasto – glinovitu ilovaču, na K_{Bb} je ilovača, dok je na K_{Bk} peskovite ilovača. Rezultati su pokazali da na K1 i K3 dominira frakcija ukupnog peska, zbog čega je procenat higroskopne vlage nizak. Na K2, procenat ukupnog peska je smanjen, dok je povećana frakcija koloidne gline i ukupne gline + prah, čime se obezbeđuje povoljna kapilarnost. Promena mehaničkog sastava pepela različite starosti je pokazala da tokom vremena biljke svojom aktivnošću i produkcijom organske mase obogaćuju supstrat organskim supstancama stvarajući organo-mineralne koloidne komplekse, čime se obezbeđuju povoljni fizički uslovi za dalji rast biljaka na pepelu, kao što su strukturna stabilnost, povećana aeracija i sposobnost zadržavanja vode.

► **Hemijske karakteristike pepela i zemljišta** su pokazale sledeće: **a)** EC (električna provodljivost), pH u vodi (aktivna kiselost) i pH u KCl (supstituciona kiselost) je bila uglavnom veća na deponiji pepela u odnosu na kontrolna staništa. Najveće vrednosti ovih parametara su bile izmerene na aktivnoj kaseti (K1), što ukazuje na prisustvo visokih koncentracija Ca, Mg, Na i B soli, kao i na baznu reakciju pepela. Niže

vrednosti ovih parametara na K2 u odnosu na K3 ukazuju da se koncentracije rastvorljivih soli smanjuju, što je posledica spiranja, a da je pepeo slabo baznog i neutralnog karaktera. **b)** parametri koji definišu zemljišni adsorptivni kompleks, kao što su: T – S (ukupna količina kiselih katjona), S (ukupna količina baznih katjona), T (totalni kapacitet adsorpcije) su bili veći na svim kontrolnim staništima u odnosu na K1 i K3, dok je V (stepen zasićenosti adsorptivnog kompleksa bazama) bio manji. Parametri T – S, S i T imaju tendenciju povećanja od K3 do K2, pri čemu je procenat baznih katjona manji usled povećanja količine kiselih katjona u kompleksu, što je u velikoj meri uslovljeno aktivnošću biljaka. Tendecija povećanja totalnog kapaciteta za katjone (T) od K1, preko K3 do K2 je direktna posledica stvaranja organskih koloida, što je uzrokovano većim prisustvom biljaka po ovom gradijentu. **c)** Količina C se smanjivala, a N povećavala tokom vremena na kasetama različite starosti. Međutim, količina C je u direktnoj vezi sa nesagorelim ugljem, te se ne može uzeti kao pouzdan parameter za procenu uticaja biljaka na pepeo. Količina N je generalno mala, te ovaj hemijski element predstavlja limitirajući faktor za rast biljaka na pepelu. Vrednosti dostupnih oblika K_2O i P_2O_5 su na kontrolnim staništima varirale u odnosu na kasete. Na K1 količina K_2O i P_2O_5 je bila najmanja. Količina dostupnih kalijumovih jona je bila najveća na K2, a fosfatnih jona na K3.

► **SEM analiza** je pokazala da su čestice pepela sfernog ili amorfnog oblika, i da obrazuju cenosfere i plerosfere. Najbrojnije su bile fine frakcije čestica pepela < 48.2 μm, a zatim krupne i srednje krupne čestice (> 63 μm). SEM (EDS) analiza hemijskog sastava čestica pepela na K1, K3 i K2 je pokazala da su koncentracije O, Al, Si Fe i Ca bile najveće.

► **Koncentracije As, B, Cu, Mo i Se na pasivnim kasetama deponije pepela TENT-A u Obrenovcu su bile veće, a Mn i Zn manje u odnosu na kontrolna staništa**. Takođe, koncentracije As, B, Cu, Mo i Se na deponiji pepela su bile toksične, izuzev B na K2. Koncentracije Mn su na pasivnim kasetama bile u deficitu, dok su na aktivnoj kaseti bile u opsegu normalnih vrednosti. Koncentracije Zn su na K2 bile u deficitu, a na K1 i K3 u opsegu normalnih vrednosti. Generalno, toksičnost As, B, Cu, Mo i Se na deponiji pepela TENT-A u Obrenovcu izdvaja ove hemijske elemente kao potencijalne zagađivaće životne sredine.

► **Sadržaj DTPA – dostupnih frakcija As, B, Mo i Se je bio veći, a Cu, Mn i Zn manji na pasivnim kasetama deponije pepela TENT – A u Obrenovcu u odnosu na kontrolna staništa**. DTPA rastvorna količina B, Mo, Se, Cu, Mn i Zn je imala trend smanjivanja tokom vremena na kasetama različite starosti. DTPA – dostupna frakcija As se povećavala sa vremenom, što može biti rezultat povećanja rastvornih organskih supstanci u pepelu. Rezultati su pokazali da je količina DTPA – As i DTPA – B, kao i udeo DTPA – dostupnih frakcija istih elemenata u odnosu na ukupan toksičan sadržaj na pasivnim kasetama deponije pepela veliki, što ukazuje da rastvorena količina As i B koja je dostupna biljkama može izazvati metabolička oštećenja vezana za njihovu toksičnost. Sadržaj DTPA – Mo i DTPA – Se, kao i udeo DTPA – dostupnih frakcija istih elemenata u odnosu na ukupan toksičan sadržaj na pasivnim kasetama deponije pepela je mali, te i količina koju biljka može da usvoji je verovatno dovoljna za normalno funkcionisanje. Količina DTPA – Cu, DTPA – Mn i DTPA – Zn, kao i udeo DTPA – dostupnih frakcija istih elemenata u odnosu na ukupan toksičan sadržaj Cu, a deficitaran sadržaj Mn i Zn na obe pasivne kasete je mali, te količina rastvorenih elemenata koja je dostupna biljkama može da izazove funkcionalno-strukturna oštećenja vezana za njihov deficit.

► **Kod *C. epigejos, F. rubra, D. gomerata i O. biennis* sadržaj As, B, Mo i Se u korenu i listovima je bio veći, a Cu, Mn i Zn uglavnom manji na obe pasivne kasete deponije pepela TENT-A u Obrenovcu u odnosu na kontrolno stanište, što se podudara sa ukupnim i DTPA - dostupnim sadržajem ovih hemijskih elemenata u pepelu i zemljištu.** Na kontrolnim staništima sadržaj B u listovima svih ispitivanih biljaka i Zn kod *C. epigejos* je bio u deficitu. Na pasivnim kasetama deponije pepela u listovima *C. epigejos*, *F. rubra*, *D. glomerata* i *O. biennis* koncentracije As i B su bile toksične (izuzev B kod *C. epigejos*), što bi moglo da ukaže da mehanizmi detoksifikacije nisu bili dovoljno efikasni kako bi sprečili njihovu akumulaciju u listovima. Koncentracije Mn i Zn u listovima svih biljaka na pasivnim kasetama deponije pepela su bile u deficitu, dok je količina Cu u listovima bila na granici deficita (izuzev kod *O. biennis*), što ukazuje da ispitivane biljke uglavnom ne obezbeđuju optimalnu količinu ovih esencijalnih elemenata za normalno odvijanje metaboličkih procesa.

Sejane vrste *F. rubra* i *D. glomerata* imaju različite mehanizme usvajanja, unutarćelijskog transporta, akumulacije i regulacije homeostaze hemijskih elemenata u korenu i listovima od spontano kolonizovanih vrsta *C. epigejos* i *O. biennis*. Tako se sejane vrste *F. rubra* i *D. glomerata* odlikuju smanjenim kapacitetom transporta As, Cu i Mn iz korenova u listove (BCF<1, TF<1), osim Mn kod *F. rubra* (K2). Suprotno njima, spontano kolonizovane vrste ***C. epigejos* i *O. biennis*** na deponiji pepela se odlikuju efikasnim transportom istih elemenata iz korena u listove (**BCF < 1, TF > 1**). Se se kod *F. rubra* i *O. biennis* (K2) akumulira u korenu (**BCF>1, TF<1**), dok se kod ostalih vrsta efikasno transportuje u listove **(BCF>1, TF>1)**. Zn se kod svih ispitivanih biljaka na deponiji pepela nalazi u većoj količini u korenu u odnosu na list (osim kod *O. biennis* na K2), dok se B i Mo efikasno transportuju u listove.

► **Kinetika fluorescencije hlorofila** je pokazala da su kod svih ispitivanih biljaka na pasivnim kasetama deponije pepela TENT – A u Obrenovcu, vrednosti Fv/Fm i Fm/Fo bile ispod optimuma, što ukazuje na fotoinhibiciju PSII i smanjenu vitalnost biljaka. Tako, kod sejanih vrsta ***F. rubra* i *D. glomerata*** na K3 i K2 vrednosti Fo su bile slične, a Fm, Fv, $t_{1/2}$, Fv/Fm i Fm/Fo manje u odnosu na kontrolna staništa, što se može povezati sa fotoinhibicijom na donor i akceptor mestu PSII. Međutim, na K2 kod spontano pridošle vrste ***C. epigejos*** vrednosti Fo su bile slične, a Fm, Fv, $t_{1/2,}$ Fv/Fm i Fm/Fo veće u odnosu na kontrolno stanište, što ukazuje na toleranciju fotosintetičkog aparata na oksidativni stres. Vrsta ***O. biennis*** na deponiji pepela ima kombinaciju većih vrednosti Fo, Fm i Fv, a manjih $t_{1/2,}$ što takođe ukazuje na fotoinhibiciju PSII. Kod ove vrste na K2, iako vrednosti tih parametara pokazuju osetljivost PSII, fotosintetička efikasnost (Fv/Fm) je bila slična sa kontrolnim staništem, što ukazuje na postojanje mehanizama zaštite PSII i održavanja vitalnosti u uslovima stresa.

► **Količina hlorofila** je kod *C. epigejos, D. glomerata* i *O. biennis* (Chl *a*, Chl *b* i Chl *a*+*b*), kao i kod *F. rubra* (Chl *a*, Chl *a*+*b*) bila manja na pasivnim kasetama deponije pepela TENT-A u Obrenovcu u odnosu na kontrolna staništa, što ukazuje na osetljivost molekula hlorofila na stresne uslove sredine koji vladaju na pepelištu. Kod *F. rubra*, količina Chl *b* je bila slična na različitim staništima, te ovaj parametar pokazuje manju osetljivost na stres. Odnos Chl *a/b* je kod *C. epigejos* na K2 bio veći, a kod ostalih ispitivanih biljaka sličan kontrolnim staništima, što ukazuje da sve vrste, a naročito *C. epigejos* poseduju funkcionalni potencijal održavanja fiziološke aktivnosti. **Količina**

ukupnih karotenoida u listovima *C. epigejos, F. rubra*, *D. glomerata* i *O. biennis* na deponiji pepela su bile manje u odnosu na kontrolna staništa, što može da ukaže na njihovu smanjenu protekciju PSII i smanjenu fotosintetičku efikasnost. **Količina antocijana** u listovima *D. glomerata* je bila manja na deponiji pepela u odnosu na kontrolno stanište, što ukazuje na njihovu veću osetljivost na stres i smanjenu protekciju PSII od fotooksidacije. Kod *F. rubra* količina antocijana je bila veća na deponiji pepela, a kod *C. epigejos* i *O. biennis* slična kontrolnim staništima. Međutim, uprkos njihovoj manjoj osetljivosti na stres, kod ovih vrsta niska efikasnost fotosinteze ukazuje na nedovoljno efikasnu zaštitu PSII.

► **Količina MDA u listovima** svih ispitivanih biljaka je bila veća na deponiji pepela TENT-A u Obrenovcu u odnosu na kontrolna staništa, što ukazuje na oksidativni stres, peroksidaciju lipida membrana, povećanje njene permeabilnosti, oštećenja funkcionalnih molekula i narušavanja osnovnih fizioloških procesa. Produkcija MDA je bila najveća kod sejanih vrsta *F. rubra* i *D. glomerata* na K3, što se podudaralo sa njihovom manjom količinom pigmenata i efikasnosti fotosinteze. Na K2, kod *C. epigejos* uprkos velikoj produkciji MDA u listovima, odnos Chl *a/b* i Fv/Fm, a kod *O. biennis* količina hlorofila i Fv/Fm su bili najveći, što bi potencijalno moglo da ukaže da se količina MDA nalazi u citosolu i da nju biljke mogu da tolerišu, predstavljajući signal za gensku ekspresiju antioksidativnih komponenti tokom oksidativnog stresa.

► **Količina slobodnih (SF), vezanih (VF) i ukupnih (UF) fenola u listovima** svih ispitivanih biljaka na deponiji pepela TENT-A u Obrenovcu je bila veća u odnosu na kontrolna staništa, što ukazuje na povećanje rastvornih frakcija fenola, kao i frakcija fenola vezanih za polisaharide matriksa ćelijskog zida. Na K3, veća količina SF i VF u listovima *C. epigejos* i VF kod *O. biennis* je mogla da dovede do manje količine MDA produkta u ćelijama, dok kod *F. rubra* i *D. glomerata* veća količina SF i VF nije bila dovoljna da spreči oštećenja membrana. Na K3, uprkos povećanoj količini fenolnih jedinjenja, efikasnost fotosinteze je bila niska. Na K2, kod svih ispitivanih biljaka zabeleženo je povećanje fotosintetičke efikasnosti u odnosu na K3, što se može jednim delom povezati i sa visokim koncentracijama SF i VF u njihovim listovima.

► **Količina askorbinske kiseline (AsA) u listovima** svih ispitivanih biljaka na deponiji pepela TENT-A u Obrenovcu je bila veća u odnosu na kontrolna staništa, što predstavlja odgovor na oksidativni stres izazvan nepovoljnim uslovima na pepelištu. Na

K3, kod *C. epigejos* i *O. biennis* povećana količina AsA može da utiče na smanjenje količine MDA u listovima i akumulaciju flavonoida, dok kod *F. rubra* i *D. glomerata* može uticati uglavnom na povećanje količine antocijana i fenolnih jedinjenja u listovima, što usled visokog oksidativnog stresa kod svih biljaka nije bilo dovoljno da smanji fotoinaktivaciju PSII. Međutim, na K2, količina AsA je bila manja u odnosu na K3, što može da ukaže na trošenje AsA u protekciji PSII, što se i ogleda u većoj fotosintetičkoj efikasnosti kod svih ispitivanih biljaka.

► **Ukupna DPPH antioksidativna aktivnost u listovima** *C. epigejos* i *O. biennis* je bila veća, kod *F. rubra* slična, a kod *D. glomerata* manja na deponiji pepela TENT-A u Obrenovcu u odnosu na kontrolna staništa. Vrsta *O. biennis* je na kontrolnom staništu i deponiji pepela pokazala najveću ukupnu DPPH antioksidatvnu aktivnost u odnosu na ostale biljke, što ukazuje da poseduje najveći potencijal aktivacije antioksidativne zaštite i visoku toleranciju na stres. Na K3, *C. epigejos* se odlikuje većim ukupnim DPPH antioksidativnim kapacitetom u odnosu na *F. rubra* i *D. glomerata*. Naime, spontano pridošle vrste *C. epigejos* i *O. biennis* su pokazale veću sposobnost sinteze antioksidativnih jedinjenja od sejanih vrsta *F. rubra* i *D. glomerata*, što ukazuje na njihov veći adaptivni potencijal u uslovima oksidativnog stresa.

► Vrsta ***C. epigejos*** se na deponiji pepela razlikuje od kontrolnog staništa po manjim koncetracijama Chl *a*, a većim AsA, dok je ukupna antioksidativna DPPH aktivnost bila veća na K2 u odnosu na K3, ukazujući da ova vrsta tokom vremena razvija visok potencijal tolerancije na stres. ***F. rubra*** se na K3 razlikuje od kontrolnog staništa po manjim koncentracijama Chl *a* i Tot Carot, a na K2 samo po manjim koncentracijama Tot Carot, dok je koncentracija Chl *a* veća na K2 u odnosu na K3. Generalno, ova vrsta pokazuje veliku osetljivost pigmenata na oksidativni stres. ***D. glomerata*** se razlikuje na K3 od kontrolnog staništa po manjim koncentracijama Chl *b*, a većim količinama antocijana, AsA i VF ukazujući da je uprkos stresu ova vrsta sposobna da aktivira mehanizme antioksidativne zaštite. ***O. biennis*** se na deponiji pepela razlikuje od kontrolnog staništa po većoj količini VF i ukupnoj DPPH antioksidativnoj aktivnosti, dok se na K3 od K2 razlikuje po većoj količini Tot Carot. **Komparativna analiza ispitivanih biljaka** na kontrolnim staništima i pasivnim kasetama deponije pepela TENT – A u Obrenovcu je pokazala da se *O. biennis* razlikuje od ostalih po većoj

količini VF i ukupnoj antioksidativnnoj DPPH aktivnosti, što ukazuje da ova vrsta poseduje visok potencijal aktivacije antioksidativne zaštite i adaptacije na stres.

► **Morfološka oštećenja listova** svih ispitivanih biljaka na deponiji pepela TENT-A u Obrenovcu pokazuju simptome koji odgovaraju toksičnosti As i B, kao i deficitu Cu, Zn i Mn, što se i podudaralo sa ukupnom i DTPA - dostupnom količinom istih hemijskih elemenata u pepelu, kao i manjim koncentracijama hlorofila u listovima i smanjenom fotosintetičkom efikasnošću. Toksični simptomi oštećenja listova As u vidu marginalnih nekroza smeđe boje bili su zabeleženi kod *C. epigejos* i *O. biennis*, a vršne nekroze listova crvene i crne boje kod *F. rubra* i *D. glomerata*. Toksični simptomi oštećenja listova B bili su izraženi u vidu hloroza žute boje koje se šire od vrha ka sredini lista kod *F. rubra, D. glomerata* i *O. biennis*. Hloroze listova svetlo zelene, žute i beličaste boje koje se šire od vrha lista ka sredini, kao i vršne nekroze i nekrotične mrlje smeđe boje na sredini lista odgovaraju deficitu Cu, Zn i Mn.

► **SEM analiza površinske strukture listova** ispitivanih biljaka je pokazala da se na listovima sa pasivnih kaseta pepela deponuje veća količina čestica nego na kontrolnim staništima. **SEM (EDS) analiza čestica pepela** je pokazala visoke koncentracije hemijskih elemenata koji ulaze u sastav pepela, kao što su Al, Si, Ca, Mg, K i Fe. Međutim, uprkos određenoj količini deponovanih čestica na površini listova, oštećenja kutikule u vidu lezija nisu bila velika. Silikatna tela koja se formiraju na površini listova *F. rubra* mogu da doprinesu toleranciji ove vrste na nepovoljne uslove koji vladaju na pepelištu.

■ Kod *C. epigejos*, *F. rubra*, *D. glomerata* i *O. biennis* su utvrđene razlike u sadržaju hemijskih elemenata u korenu i listovima (As, B, Cu, Mn, Mo, Se i Zn), fotosintetičkoj efikasnosti (Fv/Fm), sadržaju pigmenata (hlorofila, karotenoida i antocijana), MDA, fenola (SF, VF i UF), AsA, kao i u ukupnoj DPPH antioksidativnoj aktivnosti u listovima, a takođe i u morfološkim oštećenjima listova između deponije pepela TENT – A u Obrenovcu i kontrolnih staništa. Razlike ukazuju na funkcionalne i strukturne promene koje kod ispitivanih biljaka mogu da nastanu u uslovima višestrukog stresa na deponiji pepela (visoka pH, mala količina N i dostupnih oblika K_2O i P_2O_5, toksičnost As i B, a deficit Cu, Mn i Zn). Spontano kolonizovane vrste *C. epigejos* i *O. biennis*, kao i sejane vrste *F. rubra* i *D. glomerata* se na deponiji pepela, uprkos smanjenoj efikasnosti fotosinteze, smanjenoj količini pigmenata, a povećanoj količini MDA,

odlikuju povećanom biosintezom fenola, AsA, kao i značajnom aktivacijom ukupne DPPH antioksidativne aktivnosti, što može da ukaže na njihovu visoku sposobnost regulacije redoks homeostaze i aktivacije adaptivnih mehanizama koji im omogućavaju rast i opstanak na pepelištu.

Sejane vrste *F. rubra* i *D. glomerata* su veoma značajne tokom prve faze biološke rekultivacije, jer svojim dobro razvijenim korenovim sistemom vezuju pepeo i time sprečavaju eroziju vetrom. Odlikuju se smanjenim kapacitetom transporta As, Cu i Mn iz korena u listove. Obe vrste se odlikuju većom količinom hlorofila u odnosu na ostale biljke i sposobne su da u uslovima oksidativnog stresa sintetišu antioksidativna jedinjenja (fenole i AsA). Međutim, ove vrste ne stvaraju veliku količinu viabilnih semena, te se njihova brojnost i stepen prisutnosti tokom vremena smanjuje.

Spontano kolonizovane vrste *C. epigejos* i *O. biennis* dominiraju prostorom starije kasete deponije pepela. Poseduju karakteristike invazivnih vrsta, kao što su formiranje multirizomskog sistema (*C. epigejos*) i velika količina viabilnih semena (*O. biennis*). Odlikuju se efikasnim transportom As, Cu i Mn iz korena u listove. Vrsta *O. biennis* ima najveći fotosintetički potencijal, veću količinu fenola, AsA, kao i ukupnu DPPH antioksidativnu aktivnost u odnosu na sve ostale ispitivane biljke. Tokom vremena *C. epigejos* i *O. biennis* osvajaju prostor deponije pepela ukazujući da ove vrste poseduju ekofiziološke i biohemijske mehanizme tolerancije nepovoljnih uslova sredine, što ih čini pogodnim za revitalizaciju pepelišta.

8. LITERATURA

ACCA (American Coal Ash Association) (2001): Proceedings of the 14th International Symposium on management and Use of Coal Combustion Products (CCPs). *Alexandria, VA*.

Adriano, D.C. (2001): Trace elements in Terrestrial Environments: Biogeochemistry, Bioavailability and Risk of Metals. *Springer-Verlag, New York*.

Adriano, D.C. and Weber, J.T. (2001): Influence of fly ash on soil physical properties and turfgrass establishment. *Journal of Environmental Quality* **30** (2), 596 – 601.

Adriano, D.C., Page, A.L., Elseewi, A.A., Chang, A.C., Straugan, I. (1980): Utilization and disposal of fly ash and other coal residues in terrestrial ecosystems: a review. *Journal of Environmental Quality* **9**, 333 – 344.

Adriano, D.C., Wenzel, W.W., Vangronsveld, J., Bolan, N.S. (2004): Role of assisted natural attenuation in environmental cleanup. *Geoderma* **122**, 121 – 142.

Angelini, R., Manes, F., Federico, R. (1990): Spatial and functional correlation between diamine-oxidase and peroxidase activities and their dependence upon de-etiolation and wounding in chick-pea stems. *Planta* **18**2, 89-96.

Antić, M., Jović, N., Avdalović, V. (1982): Pedologija. *Novi dani, Beograd*, 403.

Armstead, I., Donnison, I., Aubry, S., Harper, J., Hörtensteiner, S., James, C., Mani, J., Moffet, M., Ougham, H., Roberts, L., Thomas, A., Weeden, N., Thomas, H., King I. (2007): Cross – species identification of mendel's I locus. *Science* **315**, 73.

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

Aro, E.M., Virgin, I., Andersson, B. (1993): Photoinhibition of photosystem II. Inactivation, protein damage and turn-over. *Biochimica et Biochimica Acta* **1143**, 113 – 134.

Arora, A., Byrem, T.M., Nair, M.G., Strasburg, G.M. (2000): Modulation of liposomal membrane fluidity by flavonoids and isoflavonoids. *Archives of Biochemistry and Biophysics* **373**, 102 – 109.

Arrivault, S., Senger, T., Kramer, U. (2006): The *Arabidopsis* metal tolerance protein AtMTP3 maintains metal homeostasis by mediating Zn exclusion

from the shoot under Fe deficiency and Zn oversupply. *Plant Journal* **46**, 861–879.

Arvy, M.P. (1993): Selenate and selenite uptake and translocation in bean plants (*Phaseolus vulgaris*). *Journal of Experimental Botany* **44**, 1083 – 1087.

Arya, S.P. and Mahajan, M. (1997): Colorimetric determination of ascorbic acid in pharmaceutical preparations and biological samples. *Microchimica Acta* **127**, 45-49.

Ayala, M.B., Gorge, J.L., Lachica M., Sandmann, G. (1992): Changes in carotenoids and fatty acids in photosystem II of Cu–deficient pea plants. *Physiologia Plantarum* **84**, 1–5.

Ayers, R.S. and Westcot, D.W. (1985): Water quality for Agriculture. FAO Irrigation and Drainage Paper No.29. *Food and Agriculture, Organization of the Unated Nations*.

Baker, A.J.M. (1981): Accumulators and excluders – strategies in the response of plants to heavy metals. *Journal of Plant Nutrition* **3**(1-4), 643 – 654.

Baker, A.J.M. (1987): Metal tolerance. *New Phytologist* **106**, 93.

Baker, A.J.M., Reeves, R.D., McGrath, S.P. (1991): In situ decontaminationof heavy metal polluted soils using crops of metal-accumulating plants, a feasibility study. In: In situ bioreclamation. Eds: Hinchee, R.E., Olfenbuttel, R.F. Butterworth. *Heinemann, Stoneham, MA*.

Baker, N.R. and Rosenqvist, E. (2004): Applications of chlorophyll fluorescence can improve crop production strategies: an examination of future possibilities. *Journal of Experimental Botany* **55**, 1607-1621.

Balakrishnan, K., Rajendran, C. Kulandaivelu, G. (2000): Differential responses of iron, magnesium and zinc deficiency on pigment composition, nutrient content, and photosynthetic activity in tropical fruit crops. *Photosynthetica* **38**(3), 477-479.

Barry, B.A., Cooper, I.B., De Riso, A., Brewer, S.H., Vu, D., M., Dyer, R.B. (2006): Time – resolved vibrational spectroscopy detects protein – based intermediates in the photosynthetic oxygen-evolving cycle. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* **103**, 7288 – 7291.

Bartlett, R.J. (1986): Soil redox behavior. In: Soil Physical Chemistry. Ed: Sparks, D.J. *CRC Press, Boca Raton, Fl,* 179.

Bashir, K., Ishimaru, Y., Nishizawa, N.K. (2012): Molecular mechanisms of zinc uptake and translocation in rice. *Plant Soil* **361**, 189–201.

Baszynski, T., Ruszkowska, M., Krol, M., Tukendorf, A., Wolinska, D. (1978): The effect of copper deficiency on the photosynthetic apparatus of higher plants. *Zeitschrift für Pflanzenphysiologie* **89**, 207 – 216.

Beckett, K.P., Freer-Smith, P.H., Taylor, G. (1998): Urban woodlands: their role in reducing the effects of particulate pollution. *Environmental Pollution* **99**, 347- 360.

Behera, R.K. and Choudhury N.K. (2001): Photoinhibition of photosynthesis: Role of carotenoids in photoprotection of chloroplast constituents. *Photosynthetica* **39**(4), 481 – 488.

Benton, J. and Jones, J. (2001): Laboratory guide for conducting soil tests and plant analysis. CRC Press LLC, New York.

Bilski, J.J., Alva, A.K., Sajwan, K.S. (1995): Fly ash. In: Soil Amendments and Environmental Quality. Ed: Rechcigl, J.E. *Lewis, Boca Raton*, 237 – 363.

Birbaum, K., Brogiolo, R., Schellenberg, M., Martinoia, E., Stark, W.J., Günther, D., Limbach, L. (2010): No evidence for cerium dioxide nanoparticle translocation in maize plants. *Environmental Science and Technology* **44**, 8718 - 8723.

Biswal, B., Rogers, L.J., Smith, A.J., Thomas, H. (1994): Carotenoid composition and its relationship to chlorophyll and D1 protein during leaf development in a normally senescing cultivar and a stay-green mutant of *Festuca pratensis*. *Photochemistry* **37**(5), 1257 – 1262.

Bjorkman, O. and Demmig, B. (1987): Photon yield of O2 evolution and chlorophyll fuorescence characteristics at 77 K among vascular plant of divers origins. *Planta* **170**, 489-504.

Blamey, F.P.C., Asher, C.J., Edwards, D.G. (1997): Boron toxicity in sunflower. In: Boron in Soils and Plants. Eds: Bell, R.W. and Rerkasem, B. *Kluwer Academic Publishers, Dordrecht*, 145 – 149.

Blanchard, L.J., Robertson, J.D., Srikantapura, S. (1995): Potentially hazardous trace elements in Kentucky Coals. *American Chemical Society, Division of Fuel Chemistry, Preprints* **40** (4), 828–832.

Blois, M.S. (1958): Antioxidant determinations by the use of a stable free radical, *Nature* **181**, 1199-1200.

Blum, **A**. and Ebercon, A. (1981): Cell membrane stability *as* a measure of drought and heat tolerance in wheat. *Crop Sciences* **21**, 43–47.

Bolhar-Nordenkampf, H.R., Long, S.P., Baker, N.R., Öquist, G., Schreiber, U., Lechner, E.G. (1989): Chlorophyll fluorescence as a probe of the photosynthetic competence of leaves in the field: a review of current instrumentation. *Functional Ecology* **3**, 497 – 514.

Bondet, V., Brand-Williams, W., Berset, C. (1997): Kinetics and mechanisms of antioxidant activity using the DPPH free radical method. *Lebensmittel-Wissenschaft und -Technologie/FoodScience and Technology* **30**, 609-615.

Booij-James, I.S., Dube, S.K., Jansen, M.A.K., Edelman, M., Mattoo, A.K. (2000): Ultraviolet-B radiation impacts light-mediated turnover of the photosystem II reaction center heterodimer in *Arabidopsis* mutants altered in phenolic metabolism. *Plant Physiology* **124**, 1275-1283.

Boojar, M.**M.A**. and Goodarzi, F. (2007): The copper tolerance strategies and the role of antioxidative enzymes in three plant species grown on copper mine. *Chemosphere* **67**, 2138 – 2147.

Borsani, O., Cuartero, J., Fernandez, J.A., Valpuesta, V., Botella, M.A. (2001): Identification of two loci in tomato reveals distinct mechanisms for salt tolerance. *The Plant Cell* **13**, 873–887.

Boyd, R.J. (2002): The partitioning behavior of boron from tormaline during ashing of coal. *International Journal of Coal Geology* **53**, 43 – 54.

Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., Berset, C. (1995): Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie-Food Science and Technology* **28**, 25-30.

Braun-Blanquet J. (1964): *Pflanzensoziologie. Grundzüge der Vegetationskunde*. 3 Aufl. *Springer, Wien, N. Y.*

Broadley, M.**R**., White, P.J., Hammond, J.P., Zelko, I., Lux, A. (2007): Zinc in plants. *New Phytologist* **173**, 677 – 702.

Brown, T.**A**. and Shrift, A. (1982): Selenium: toxicity and tolerance in higher plants. *Biological Reviews* **57**, 59 – 84.

Brun, L.**A**., Maillet, J., Hinsinger, P., Pepin, M. (2001): Evaluation of copper-contaminated vineyard soils. *Environmental Pollution* **111**, 293 – 302.

Burghardt, M. and Riederer, M. (2006): Cuticular transpiration. In: Biology of the plant cuticle. Eds: Riederer, M., Müller, C. *Oxford: Blackwell Publishing*, 291–310.

Burnell, J.N. (1988): The biochemistry of manganese in plants. In: Manganese in Soilsand Plants. Eds: Graham, R.D., Hannam, R.J., Uren, N.C. *Kluwer Academic Publishers, Dordrecht*, 125 – 137.

Bussotti, F., Desotgiua, R, Cascioa, C., Pollastrini, M., Gravanoa, E., Gerosab, G., Marzuoli, R., Nali, C., Lorenzini, G., Salvatori, E., Manesd, F. Schaube, M., Strasser, R.J. (2011): Ozone stress in woody plants assessed with chlorophyll *a* fluorescence. a critical reassessment of existing data. *Environmental and Experimental of Botany* **73**, 19–30.

Cai, Y.Z., Sun, M., Xing, J., Luo, Q., Corke, H. (2006): Structure radical scavenging activity relationships of phenolic compounds from traditional Chinese medicinal plants. *Life Sciences* **78**, 2872–2888.

Caillatte, R., Schikora, A., Briat, J-F., Mari, S., Curie, C. (2010): High-Affinity Manganese Uptake by the Metal Transporter NRAMP1 is Essential for *Arabidopsis* Growth in Low Manganese Conditions. The *Plant Cell* **22**, 904 – 917.

Cakmak, I. (2000): Possible roles in zinc in protecting plant cells from damage by reactive oygen species. *New Phytologist* **146**, 185 – 205.

Cakmak, I. and Marshner, H. (1988): Increase in membrane permeability and exudation of roots of zinc deficient plants. *Journal of Plant Physiology* **132**, 356 – 361.

Candan, N. and Tarhan, L. (2011): Influence of Manganese Deficiency on Metal Ion Uptake, Antioxidant Defense Mechanism and Lipid Peroxidation Levels in *Mentha piperita* Leaves. *Acta Biologica Cracoviensia* **53**(1), 20 – 25.

Carbonell – Barrachina, A.A., Aarabi, M.A., De Laune, R.D., Gambrell, R.P., Patrich. W.H. (1998): The influence of arsenic chemical form and concentration on *Spartina patens* and *Spartina alterniflora* growth and tissue arsenic concentration. *Pant Soil* **198**, 33 – 43.

Carbonell-Barrachina, A.A., Burlo, F., Burgos-Hernandez, A., Lopez, E., Mataix, J. (1997): The influence of arsenite concentration on arsenic accumulation in tomato and bean plants. *Scientia Horticulturae* **71**, 167 - 176.

Carlson, C.L. and Adriano, D.C. (1993): Environmental impacts of coal combustion residues. *Journal of Environmental Quality* **22**, 227 – 247.

Cervilla, L.M., Blasco, B., Rios, J.J., Rosales, M.A., Sanchez-Rodriguez, E., Rubio – Wilhemi, M.M., Romero, L., Ruiz, J.M. (2012): Parameters symptomatic for boron toxicity in leaves of tomato plants. *Journal of Botany*, 1-17.

Chamacho-Cristobal, J.J., Anzellotti, D., Gonzàlez-Fontez, A. (2002): Changes in phenolic metabolism of tobacco plants during short-term boron deficiency. *Plant Physiology and Biochemistry* **40**: 997-1002.

Chandronitha, C., Ananthi, S., Ramakrishnan, G., Lakshmisundaram, R., Gayathri, V., Vasanthi, H. R. (2010): Protective role of tannin-rich fraction of *Camellia* sinensis in tissue arsenic burden in Sprague Dawley rats. Human and Experimental Toxicology **29** (9), 705–719.

Chaney, R.L. (1983): Plant uptake of inorganic waste. In: Land Treatment of hazardous waste. Eds: Parr, J.E, Marsh, P.B., Kla, J.M. *Noyes, Data Corp, Park Ridge II*, 50 – 76.

Chassapis, K., Roulia, M., Vrettou, E., Fili, D., Zervaki, M. (2010): Biofunctional Characteristics of Lignite Fly Ash Modified by Humates: A New Soil Conditioner. *Bioinorganic Chemistry and Applications*, 1 – 8.

Chavez, C.A.G., Vangronsveld, J., Colpaert, J., Leyval., C. (2006): Arbiscular mycorrhizal fungi and heavy metals: tolerance mechanisms and potencial use in bioremediation. In: Trace elements in the Environment (Biogeochemistry, Biotechnology and Bioremediation). Eds: Prasad, M.N.V., Sajwan, K.S., Naidu, R. *CRC, Taylor & Francis, Boca Raton*, 211 – 234.

Chen, L.S., Pengmin, L., Cheng, L. (2008): Effects of high temperature coupled with high light on the balance between photooxidation and photoprotection in the sun-exposed peel of apple. *Planta* **228**, 745 – 756.

Chen, Q. and Wong, J.W. (2006): Growth of *Agropyron elongatum* in a simulated nickel contaminated soil with lime stabilization. *Science of the Total Environment* **366**, 448 – 455.

Chesire, M.V., Berrow, M.L., Goodman, B., Mundie, C.M. (1977): Metal distribution and nature of some Cu, Mn and V complexes in humic and fulvic acid fractions of soil organic matter. *Geochimica et Cosmochimica Acta* **41**, 1131.

Churay, D.J., Gutenman, W.H., Kabata – Pendias, A., Lisk, D.J. (1979): Element concentrations in aqueous equilibrates of coal and lignite fly ashes. Journal of Agricultural Food Chemistry. *American Chemical Society* **27**(4), 910 – 911.

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

Clemens, S. (2006): Toxic metal accumulation, response to exposure and mechanisms of tolerance in plants. *Biochimie* **88**, 1707 – 1719.

Cleve, K., Van Chapin, F.S., Dryness, C.T., Viereck, L.A. (1991): Element cycling in taiga forest: State factor control. *Bioscience* **41**, 78 – 88.

Cokić, Z., Stavretović, N., Petrović, V., Miladinović, M., Zarić, J., Manjasek, S. (2005): Zeljasti predstavnici familije *Fabaceae* i njihova upotreba u sanaciji deponija pepela i šljake. EcoIst 05 XIII Naučno-stručni skup o prirodnim vrednostima i zaštiti životne sredine. Bor, 01 – 04 Jun, Zbornik radova, 220 – 222.

Constantopoulus, G. (1970): Lipid metabolism of manganese-deficient algae. I. Effect of manganese deficiency on the greening and the lipid composition of *Euglena gracilis Z. Plant Physiology* **45,** 76 – 80.

Cooke, J. and Leishman, M.R. (2011): Is plant ecology more siliceous than we realise? *Trends in Plant Science* **16**, 61 – 68.

Cope, F. (1962): The development of a soil from an industrial waste. *Transactions of the International Soil Science Society Conference IV*, 859 – 863.

Cornelis, G., Johnson, C.A., Gerven, T.V., Vandecasteele, C.D. (1978): Leaching mechanisms of oxyanionic metalloid and metal species in alkaline solid wastes: A review. *Applied Geochemistry* **23**, 955 – 976.

Cowherd, C.J., Marcus, M., Guenther, C.M. Spigarelli, J. L. (1975): Hazardous Emission Characterization of Utility Boilers. Techical Report, *Midwest Research Institute*.

Cox, J.**A**., Lundquist, G.L., Prtyjazny, A., Schmulbach, C.D. (1978): Leaching of Boron from Coal Ash. *Environmental Sciences and Technology* **12**, 722 – 723.

Creasy, L.L. (1968): The role of low temperature in anthocyanin synthesis in McIntosh apples. *Proceedings of the American Society for Horticultural Science* **93**, 716-724.

Crowley, D.E., Wang, Y.C., Reid, C.P.P., Szansiszlo, P.J. (1991): Mechanism of iron acquisition from siderophores by microorganisms and plants. *Plant and Soil* **130**, 179 – 198.

Čumakov, A. (1988): Trace Elements in Slovakian Soils and Plant Nutrition, Ph,D. thesis, *Institute of Sugar Industry, Bratislava*, 350.

Czech, V., Czövek, P., Fodor, J., Bóka, K., Fodor, F., Cseh, E. (2008): Investigation of arsenate phytotoxicity in cucumber plants. *Acta Biologica Szegediensis* **52**, 79–80.

Dannel, F., Pfeffer, H., Römheld, V. (2000): Characterization of root boron pools, boron uptake and boron translocation in sunflower using the stable isotpes ^{10}B and ^{11}B. *Australian Journal of Plant Physiology* **27**, 397 – 405.

Davidson, R.L., Natusch, D.F.S., Wallace, J.R., Evans, C.A. (1974): Trace elements in fly ash: dependence of concentration on particle size. *Environmental Science and Technology* **8**, 1107 – 113.

De Koe, T. (1994): *Agrostis castellana* and *Agrostis delicatula* on heavy metal and arsenic enriched sites in NE Portugal. *Science of the Total Environment* **145**, 103 – 09.

De Souza, M.P., Pilon-Smits, E.A.H., Lytle, C.M., Hwang, S., Tai, J., Honma, T.S.U., Yeh, L., Terry, N. (1998): Rate-limiting steps in selenium assimilation and volatilization by Indian mustard. *Plant Physiology* **117**, 1487 – 1494.

De Tullio, M.C., Paciola, C., Dalla Vechia, F., Rascio, N., D'Emerico, S., De Gara, L., Liso, R., Arrigoni, O. (1999): Changes in onion root development induced by the inhibition of peptidyl prolyl hydroxylase and influence of ascorbate system on cell division and elongation. *Planta* **109**, 424–434.

Debrosses-Fonrouge, A-G., Voigt, K., Schröder, A., Arrivault, S., Thomine, S., Krämer, U. (2005): *Arabidopsis thaliana* MTP1 is a Zn transporter in the vacuolar membrane which mediates Zn detoxification and drives leaf Zn accumulation. *FEPBS Letters* **579**, 4165 – 4174.

Demmig-Adams, B. and Adams, W.W. III (2006): Photoprotection in an ecological context: the remarkable complexity of thermal energy dissipation. *New Phytologist* **172**, 1–21.

Desikan, R., Hancock, J., Neill, S. (2005): Reactive oxygen species as signalling molecules. In: Antioxidants and Reactive Oxgen Species in Plants. Ed: Smirnoff, N. *Blackwell Publishing Ltd, Oxford, UK*, 169 -196.

Dietrich, W., Wagner, W.L., Raven, P.H. (1997): Systematics of *Oenothera* section *Oenothera* subsection *Oenothera* (*Onagraceae*). *Systematic Botany Monographs* **50**(1), 1 – 234.

Diklić, N. (1973): Rod *Oenothera*. In: Flora SR Srbije V. Ed: Josifović, M. *Srpska Akademija Nauka i Umetnosti. Odeljenje prirodno-matematičkih nauka. Beograd*, 29 – 32.

Djordjević - Miloradović, J. (1998): Populaciona dinamika biljaka u primarnoj sukcesiji vegetacije na deponijama pepela termoelektrane Kostolac. Doktorska disertacija. *Biološki fakultet Univerziteta u Beogradu*, 459.

Djurdjević, L., Mitrović, M., Pavlović, P. (2007a): Total phenolics and phenolic acids in plants and soils. In: Plant Cell Diagnostics: Images, Biophysical and Bichemical Processes in Allelopathy. Section III: ‘‘Methods of Analytical Biochemistry and Biophysics’’. Eds: Roshchina, V.V., Narwal, S.S., *Science Publishers, Enfield, USA*, pp. 155–168 (Chapter 13).

Djurdjević, L., Mitrović, M., Pavlović, P. (2007b): Methodology of allelopathy research: 2. Forest ecosystems. *Allelopathy Journal* **20**(1), 79–102.

Djurdjević, L., Mitrović, M., Pavlović, P., Gajić, G., Kostić, O. (2006): Phenolic acids as bioindicators of fly ash deposit revegetation. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* **50**, 488 – 495.

Doren, R.E., Volin, J.C., Richards, J,.H. (2009a): Invasive exotic plant indicators for ecosystem restoration: an example from the Everglades restoration program. *Ecological Indicators* **9**, 29 – 36.

Dosskey, M.G. and Adriano, D.C. (1993): Trace element toxicity in VA mycorrhizal cucumber grown on weathered coal fly ash. *Soil Biology and Biochemistry* **25**, 1547 – 1552.

Doyle, P., Fletcher, W.K., Brink, V.C. (1973): Trace element content of soils and plants from Selwyn Mountains, yukon and Northwest Territories. *Canadian Journal of Botany* **51**, 421.

Dražić, G. (1993): Mogućnosti biološke rekultivacije odlagališta pepela i šljake termoelektrana. Zbornik radova II Savetovanja mladih istraživača Srbije. „Proizvodnja hrane i životna sredina“, *Poljoprivredni fakultet*, Zemun, 167 – 169.

Dražić, G., Dželetović, Ž., Lazarević, M.M. (1997): 250 hectares of technologenic desert – 5 years later. *Ekologija* **32**(1), 35 – 42.

Dreesen, D. R., Wangen, L. E., Gladney, E. S., and Owens, J. W. (1978): Solubility of Trace Elements in Coal Fly Ash. In: Environmental Chemistry and Cycling processes. Eds: Adriano, D.C. and Brisbin, I.L. *ERDA Symposium Series, CONF*-760429, 240–252.

Droppa, M., Terry, N., Horvath, G. (1984): Variation in Photosynthetic Pigments and Plastoquinone Contents in Sugar Beet Chloroplasts with Changes in Leaf Copper Content. *Plant Physiology* **74**, 717 – 720.

Du, Z. and Bramlage, W.J. (1992): Modifed thiobarbituric acid assay for measuring lipid oxidation in sugar-rich plant tissue extracts. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **40**, 1566-1570.

Dučić, T. and Polle, A. (2005): Transport and detoxification of manganese and copper in plants. *Brazilian Journal of Plant Physiology* **17**(1), 103 – 112.

Dudas, M.J. (1981): Long-term leachability of selected elements from fly ash. *Environmental Science and Technology* **15,** 840 – 843.

Dželetović, Ž. And Filipović R. (1995): Grain characteristics of crops grown on power plant ash and bottom slag deposit. *Resources, Conservation and Recycling* **13**, 105-113.

Eklund, P.C., Langvik, O.K., Wärna, J.P., Salmi, T.O., Willför, S.M., Sjöholm, R.E. (2005): Chemical studies on antioxidant mechanisms and free radical scavenging properties of lignans. *Organic and Biomolecular Chemistry* **3**, 3336–3347.

El – Mogazi, D., Lisk, D.J., Weinstain, L.H. (1988): A review of physical, chemical and biological properties of fly ash and effects on agricultural ecosystems. *Science of the Total Environment* **1**(74), 1 – 37.

Eraslan, F., Inal, A., Savastur, O., Gunes, A. (2007): Changes in antioxidative system and membrane damage of lettuce in response to salinity and boron toxicity. *Scientia Horticulturae* **114**, 5-10.

Erlejman, A.G., Verstraeten, S.V., Fraga, C.G., Oteiza, P.I. (2004): The interaction of flavonoids with membranes: Potential determinant of flavonoid antioxidant effects. *Free Radical Researsh* **38**, 1311–1320.

Ernst, W.H.O. (1975): Physiology of heavy metal resistance in plants. In: Proceedings of an International Conference on Heavy Metals in the Environment. Ed: Hutchinson, T.C. *CEP Consultants, Edinburgh*, 121–136.

Esterbauer, H., Schaur, R.J., Zollner, H. (1991): Chemistrx and biochemistry of 4-hydroxynonenal, malonaldehyde and related aldehydes. *Free Radical Biology and Medicine* **11**, 81 – 128.

Falcone, D.L., Ogas, J.P., Somerville, C.R. (2004): Regulation of membrane fatty acid composition by temperature in mutants of *Arabidopsis* with alterations in membrane lipid composition. *BMC Plant Biology* **4**, 1–15.

Farmer, A. (2002): Effects of particulates. In: Air pollution and plant life. Eds: Bell, J.N.B., Treshow, M. *John Wiley and Sons Ltd.*

Feldman, A.W. and Hanks, R.W. (1968): Phenolic content in the roots and leaves of tolerant and susceptible cultivars attacked by *Rodopholus similis*. *Phytochemistry* **7**, 5–12.

Ferrol, N., Belver, A., Roldan, M., Rodriguez-Rosales, M.P., Donaire, J.P. (1993): Effects of Boron on Proton Transport and Membrane Properties of Sunflower (*Helianthus annuus* L.) Cell Microsomes. *Plant Physiology* **103**, 763 – 769.

Fettweis, U., Bens, O., Huttl, R.F. (2005): Accumulation and properties of soil organic carbon at reclaimed mine sites in the Lusatian lignite mining district afforested with *Pinus* sp. *Geoderma* **129**, 81-89.

Figueroa, M.E., Fernandez-Baco, L., Lique, T., Davy, A.J. (1997): Chlorophyll fluorescence, stress and survival in populations of Mediterranean grasslands species. *Journal of Vegetation Sciences* **8**, 881 – 888.

Filella, I., Serrano, L., Serra, J., Peñuelas, J. (1995): Evaluating wheat nitrogen status with canopy reflectance indices and discrimination analysis. *Crop Science* **35**, 1400-1405.

Finkelman, R.B. (1995): Modes of occurence of environmentally-sensitive trace elements in coal. In: Environmental Aspects of Trace Elements in Coal. Eds: Swaine, D.J., Goodarzi, F. *Springer – Verlag.*

Fischer, G.L., Chang, D.P.Y., Brummer, M. (1976): Fly ash collected from electrostatic precipitator. Microcrystalline structures and the mystery of the spheres. *Science* **19**, 553.

Fitzpatrick, K.L., Tyerman, S.D., Kaiser, B.N. (2008): Molybdate transporter through the plant sulfate transporter SHST1. *FEPBS Letters* **582**, 1508 – 1513.

Foyer, C. and Noctor, G. (2005): Oxidant and antioxidant signalling in plants: a re-evaluation of the concept of oxidative stress in a physiological context. *Plant, Cell and Environment* **28**, 1056 – 1071.

Foyer, C. and Noctor, G. (2005): Redox Homeostasis and Antioxidant Signalling: A Metabolic Interface between Stress Perception and Physiological Responses. *Plant Cell* **17**, 1866 – 1875.

Foyer, C. and Shigeoka, S. (2010): Understanding oxidative stress and antioxidant functions in order to enhance photosynthesis. *Plant Physiology* **155**, 93 – 100.

Foyer, C.H. (2002): The contribution of photosynthetic oxgen metabolism to oxidative stress in plants. In: Oxidative stress in plants. Eds: Inze, D. and Montago, M.V. *Taylor and Francis Publishers, New York, USA*, 33 – 68.

Furuya, K., Miyayima, Y., Chiba, T., Kikuchi, T. (1987): Elemental Characterization of Particle Size – Density Separated Coal Fly Ash by Spectrophotometry, Inductively Xoupled Plasma Emission Spectrometry and Scanning Electron Microscopy – Energy Disperzive X ray Analysis. *Environmental Sicence of Technology* **21**, 898 – 903.

Futch, S.H. and Tucker, D.P.H. (2011): A Guide to Citrus Nutritional Deficiency and Toxicity Identification. *Florida Cooperative Extension Services, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida*, HS-797.

Gajić, G. (2007): Uticaj aerozagađenja na funkcionalno - strukturne karakteristike gajenih žbunastih vrsta *Syringa vulgaris* L., *Ligustrum ovalifolium* Hassk. i *Spiraea van-houttei* (Briot.) Zab. U Beogradu. Magistarska teza, Biološki fakultet Univerziteta u Beogradu, 186.

Gajić, G., Mitrović, M., Pavlović, P., Stevanović, B., Djurdjevic, L., Kostić, O. (2009): An assessment of the tolerance of *Ligustrum ovalifolium* Hassk. To traffic-generated Pb using physiological and biochemical markers. *Ecotoxicology and Environmental Safety* **72**(4), 1090 – 1101.

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

Gajić, M. (1973): Rod *Festuca.* In: Flora SR Srbije V. Ed: Josifović, M. *Srpska Akademija Nauka i Umetnosti. Odeljenje prirodno-matematičkih nauka. Beograd*, 415 – 418.

Garg, N. and Singla, P. (2011): Arsenic toxicity in crop plants: physiological effects and tolerance mechanism. *Environmental Chemistry Letters* **9**, 303 – 321.

Gasber, A., Klaumann, A., Trentmann, O., Trampczynska, A., Clemens, S., Schneider, S., Sauer, N., Feifer, I., Bittner, F., Mendel, R.R., Neuhaus, H.E. (2011): Identification of an *Arabidopsis* solute carrier critical for itracellular transport and interorgan allocation of molbdate. *Plant Biology* **13**, 710 – 718.

Gautam, S., Singh, A., Singh, J. (2012): Effect of Fly ash Amended Soil on Growth and Yield of Indian Mustard (*Brassica juncea*). *Advances in Bioresearch* **3**(4), 39 – 45.

Germ, M.V., Stibilj, V., Kreft, I. (2007): Metabolic importance of selenium for plants. *European Journal of Plant Science and Biotechnology* **1**, 91 – 97.

Gill, S.S. and Tuteja, N. (2010): Reactive oxgen species and antioxidant mashinery in abiotic stress tolerance in crop plants. *Plant Physiology and Biochemistry* **48**, 909 – 930.

Gist, G.R. and Smith, R.M. (1948): Root development of several common forage grasses to a depth of eighteen inches. *Journal of the American Society of Agronomy* **40**, 1036 – 1042.

Glavni projekat rekultivacije deponije pepela i šljake JP TE „Nikola Tesla – A i B“ (2004): , Institut za zemljište, Beograd.

Gloser, V. and Glosser, J. (1996): Acclimation capability of *Calamagrostis epigejos* and *C. arundacea* to changes in radiation environment. *Photosynthetica* **32**, 203 – 212.

Gloser, V., Košvancova, M., Gloser, J. (2004): Changes in growth parameters and content of N-storage compounds in roots and rhizomes of *Calamagrostis epigejos* after repeated defoliation. *Biologia, Bratislava* **59**(13): 179 – 184.

Goldberg, S., Shouse, P.J., Lesch, S.M., Grieve, C.M., Poss, J.A., Forster, H.S., Suarez, D.L. (1982): Soil boron extractions as indicators of boron content of field-grown crops. *Soil Sciences* **167**(11), 720 – 728.

Goodarzi, F. (2006): Morphology and chemistry of fine particles emitted from a Canadian coal-fired power plant. *Fuel* **85**, 273 – 280.

Goodarzi, F. and Sanei, H. (2009): Plerosphere and its role in reduction of emitted fine fly ash particles from pulverized coal-fired power plants. *Fuel* **88**, 382 – 386.

Gordon, G.E., Davis, D.D., Israel., G.W., Landsberg, H.E., O Havier, T.C., Staley, S.W., Zoller, W.H. (1974): Study of the Emisions from Major Air Pollution Sources and their Atmospheric Interactions. *University of Maryland Department of Chemistry and Institute for Fluid Dynamics and Applied Mathematics, College Park, Md.*

Götshi, T., Hazenkamp-von Arx, --M.E., Heinrich, J., Bono, R., Burney, P., Forsberg, B., Jarvis, D., Maldonaldo, J., Norback, D., Stern, W.B., Sunyer, J., Toren, K., Verlato, G., Villani, S., Kunzli, N. (2005): Elemental composition and reflectance of ambient fine particles at 21 European locations. *Atmospheric Environment* **39**(32), 5947 – 5958.

Gould, K.S. and Lee, D.W. (2002): Anthocyanins and leaves. The function of anthocyanins in vegetative organs. Advances in Botanical Research 37. *Academic Press, London, United Kingdom.*

Grace, S.**C**. (2005): Phenolics as antioxidants. In: Antioxidants and Reactive Oxgen Species in Plants. Ed: Smirnoff, N. *Blackwell Publishing Ltd, Oxford, UK*, 141 – 168.

Grace, S.C. and B.A. Logan, B.A. (2000).: Energy dissipation and radical scavenging by the plant phenylpropanoid pathway. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* **355**, 1499-1510.

Grace, S.**C**. and Logan, B.A. (1996): Acclimation of foliar antioxidant systems to growth irradiance in three broad-leaved evergreen species. *Plant Physiology* **112**, 1631 – 1640.

Grafe, M., Eick, M.J., Grossl, P.R. (2002): Adsorption of arsenate and arsenite on ferrihydrite in the presence and absence of dissolved organic carbon. *Journal of Environmental Quality* **31**, 1115 - 1123.

Grime, J.P. (1979): Plant strategies and vegetation proceses. *John Wiley and Sons*, Chichester, England, 222.

Gross, K.L. (1981): Prediction of fate from rosette size in 4 biennial plant species *Verbascum thapsus*, *Oenothera biennis*, *Daucus carota*, and *Tragopon dubius*. *Oecologia* **20**, 197 – 201.

Gross, K.L. and Wener, P.A. (1982): Colonizing abilities of bienal plant species in relation to ground cover: Implications for their distributions in a successional sere. *Ecology* **63**(4), 921 – 931.

Guidi, L., Degl'Innocenti, E., Carmassi, G., Massa, D. Pardossi, A. (2011): Effects of boron on leaf chlorophyll fluorescence of greenhouse tomato grown with saline water. *Environmental and Experimental of Botany* **73**, 57-63.

Guimares, F.P., Aguiar, R., Oliveira, J.A., Silva, J.A.A., Karam, D. (2012): Potential of Macrophyte for Removing Arsenite from Aqueous Solution. *Planta Daninha, Vicosa-MG* **30**(4), 683 – 696.

Gunes, A., Soylemezoglu, G., Inal, A., Bagci, E.G., Coban, S., Sahin, O. (2006): Antioxidant and stomatal responses of grapevine (*Vitis vinifera* L.) to boron toxicity. *Scientia Horticulturae* **110**, 279-284.

Gupta, A.K. and Sinha, S. (2006): Role of *Brassica juncea* (L.) Czern. (var. Vaibhav) in the phytoextraction of Ni from soil amended with fly ash: Selection of extractant for metal bioavailabilty. *Journal of Hazardous Materials B* **136**, 371 – 378.

Gupta, A.K. and Sinha, S. (2008): Decontamination and/or revegetation of fly ash dykes through naturally growing plants. *Journal of Hazardous Materials* **153**, 1078 – 1087.

Gupta, D.K., Rai, U.N., Tripathi, R.D., Inouhe, M. (2002): Impacts of fly ash on soil and plant responses. *Journal of Plant Research* **115**, 401 – 409.

Gusman, G., Oliviera, J.A., Farnese, F.S., Cambraia, J. (2013): Arsenate and arsenite: the toxic effects on photosynthesis and growth of lettuce plants. *Acta Physiologia Plantarum* **35**, 1201 – 1209.

Gutenmann, W.H., Pakkala, Y.S., Churey, D.J., Kelly,W.C, Lisk, D.J. (1979): Arsenic, boron, molybdenum, and selenium in successive cuttings of forage crops field grown on fly ash amended soil. *Journal of the Agriculture and Food Chemistry* **27**, 1393-1395.

Hajibold, R. and Amirazad, F. (2010): Growth, photosynthesis and antioxidant defence system in Zn-deficient red cabbage plants. *Plant Soil Environment* **56**, 209 – 217.

Hajibold, R. and Amirazad, F. (2012): Photochemistry and gas exchange in cold condition in Zn- deficient red cabbage (*Brassica oleracea* L., var. *capitata* f. *rubra*) plants. *Folia horticulturae* **24**(1), 3 – 11.

Halliwell, B. (2006): Reactive Species and Antioxidants. Redox Biology Is a Fundamental Theme of Aerobic Life. *Plant Physiology* **141**, 312 – 322.

Halliwell, B. and Gutteridge, J.M.C. (2006): Free Radicals in Biologz and Medicine, *Claredon Press, Oxford*.

Hallsten, G.P., Skinner, Q.D., Beetle, A.A. (1987): Grasses of Wyoming. Research Journal 202, Laramie, WV. *University of Wyoming, Agriculture Experimental Station*, 432.

Hamilton, S.J. (2004): Review of selenium toxicity in the aquatic food chain. *Science of the Total Environment* **326**, 1 – 31.

Han, S., Tang, N., Jiang, H.X., Yang, L.T., Li,Y., Chen, L.S. (2009): CO_2 assimilation, photosystem II photochemistry, carbohydrate metabolism and antioxidant system of citrus leaves in response to boron stress. *Plant Science* **176**, 143-153.

Hannaway, D., Fransen, S., Cropper, J., Teel, M., Chaney, M., Griggs, T., Halse, R., Hart, J., Cheeke, P., Hansen, D., Klinger, R., Lane, W. (1999): Orchardgrass (Dactylis glomerata L.). *PNW, Oregon State University*, 1-18.

Hardiman, R.T., Jacoby, B, Banin, A. (1984): Factors affecting the distribution of cadmium, copper and lead and their effects upon yield and zinc content in bush bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Plant and Soil* **81**, 17 – 27.

Hartley – Whitaker, J., Woods, C., Meharg, A.A. (2002): Is differential phytochelatin production related to decreased arsenate influx in arsenate tolerant *Holcus lanatus*? *New Phytologist* **155**, 219 – 225.

Hasanuzzaman, M., Hossain, M.A., Fujita, M. (2010) Selenium in higher plants: physiological role, antioxidant metabolism and abiotic stress tolerance. *Journal of Plant Sciences* **5**, 354–375.

Hatano, T., Kagawa, H., Yasuhara, T., Okuda, T. (1988): Two new flavonoids and other constituent in licorice root, their relative astrigency and radical scavenging effects. *Chemical and Pharmaceutical Bulletin* **36**, 2090-2097.

Hauck, B., Gay, A.P., Macduff, J., Griffiths, C.M., Thomas, H. (1997): Leaf senescence in a non-yellowing mutant of *Festuca pratensis*: implications of the stay-green mutation for photosynthesis, growth and nitrogen nutrition. *Plant Cell and Environment* **20**, 1007–1018.

Haydon, M.J., Kawachi, M., Wirtz, M., Hillmer, S., Hell, R., and Krämer, U. (2012): Vacuolar nicotianamine has critical and distinct roles under iron defciency and for zinc sequestration in *Arabidopsis*. *Plant Cell* **24**, 724–737.

Hayek A. (1924-1933): Prodromus Florae Peninsulae Balcanicae, 1-3, *Dahlem bei*

Haynes, R.J. (2009): Reclamation and revegetation of fly ash disposal sites – Challenges and research needs. *Journal of Environmental Management* **90**, 43 – 53.

Heath, R.L. and Packer, L. (1968): Photoperoxidation in isolated chloroplasts. I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. *Archives of Biochemics et Biophysics* **125**, 180-198.

Hebbern, C., Laursen, K.H., Ladegaard, A.H., Schmidt, S.B., Pedas, P., Bruhn, D., Schjoerring, J.K., Wulfsohn, D., Husted, S. (2009): Latent manganese deficiency increases transpiration in barley (*Hordeum vulgare*): *Physiologia Plantarum* 135, 307 – 316.

Heidrich, C., Feuerborn, H-J., Weit, A. (2013): Coal Combustion Products: a Global Perspective. World of Ash (WOCA) Conference, April 22-25, 2013, Lexington, Kentucky, USA. http://flyash.info

Hernandez, I., Alegre, L., Van Breusegem, F., Munne-Bosch, S. (2009): How relevant are flavonoids as antioxidants in plants? *Trends in Plant Science* **14**(3), 125 – 132.

Heuwinkel, H., Kirkby, E.A., Le Bot, J., Marschner, H. (1992): Phosphorius deficiency enhances molybdenum uptake by tomato plants. *Journal of Plant Nutrition* **15**, 549 – 568.

Hille, R. (1996): The mononuclear molybdenum enzymes. *Chemical Reviews* **96**, 2757 – 2816.

Himelblau, E. and Amasino, R.M. (2000): Delivering copper within plant cell. *Current Opinion in Plant Biology* **3**, 205 – 210.

Hodges, D.M., DeLong, J.M., Forney, C.F., Prange, R.K. (1999): Improving the thiobarbituric acid-reactive-substances assay for estimating lipid peroxidation in

plant tissues containing anthocyanin and other interfering compounds. *Planta* **207**, 604–611.

Hodgson, D.R. and Townsend, W.N. (1973): The amelioration and revegetation of pulverized fuel ash. In: Ecology and Reclamation of Devastated Land. Eds: Chadwick, M.J., Goodman, G.T. *Gordon and Breach, London*, 2, 247 – 270.

Hodgson, J.E., Geering, H.R., Norvell, W.A. (1966): Micronutrient cation complexes in soil solution. *Proceedings - Soil Science Society of America* **30**, 723.

Hollis, J.F., Keren, R., Gal, M. (1988): Boron release and sorption by fly ash as affected by pH and particle size. *Journal of Environmental Quality* **17**, 181 – 184.

Hörtensteiner, S. (2009): Stay-green regulates chlorophyll and chlorophyll-binding protein degradation during senescence. *Trends in Plant Science* **14**(3), 155 – 162.

Horton, P., Wentworth, M., Ruban, A. (2005): Control of the ligh harvesting function of chloroplast membranes: The LHCII - aggregatio model for non-photochemical quenching. *FEBS Letters* **579**, 4201 - 4206.

Hsu, J.H. and Lo, S.L. (2000): Characterization and extractability of copper, manganese, and zinc in swine manure composts. *Journal of Environmental Quality*, **29**, 447–453.

Huang, L., Baumgartl, T., Mulligan, D. (2012): Is rhizosphere remediation sufficient for sustainable revegetation of mine tailings? *Annals of Botany* **110**, 223 – 238.

Huang, P.M. (1975): Retention of arsenic by hydroxy-aluminium on surface of micaceous colloids. *Proceedings - Soil Science Society of America* **39**, 271.

Huffman, D.L. and O' Halloran, O. (2000): Energetics of Copper Trafficking between the Atx1 Metallochaperone and the Intracellular Copper Transporter, Ccc2. *The Journal of Biological Chemistry* **275**(25), 18611 – 18614.

Huggins, F.E., Srikantapura, S., Parekh, B.K., Blanchard, L., Robertson, J.D. (1997): XANES Spectroscopic Characterization of Selected Elements in Deep Cleaned Fractions of Kentatucky No.9 Coal. *Energy Fuels* **11**, 691 – 701.

Hussain, D., Haydon, M.J., Wang, y., Wong, E., Sherson, S.M., yong, J., Camakaris, J., Harper, J.F., Cobbett, C.S. (2004): P-type ATPase heavy metal transporters with roles in essential zinc homeostasis in *Arabidopsis*. *The Plant Cell* **16**, 1327 – 1339.

Husted, S., Laursen, K.H., Hebbern, C.A., Schmidt, S.B., Pedas, P., Haldrup, A., Jensen, P.E. (2009): Manganese Deficiency Leads to Genotype-Specific Changes in Fluoresce Induction Kinetics and State Transition. *Plant Physiology* **150**, 825 – 833.

Ide, Y., Kusano, M., Oikawa, A., Fukushima, A., Tomatsu, H., Saito, K., Hirai, M.Y., Fujiwara, T. (2011): Effects of molybdenum deficiency and defects in molybdate transporter MOT1 on transcript accumulation and nitrogen / sulphur metabolism in *Arabidopsis thaliana*. *Journal of Experimental Botany* **62**(4), 1483 – 1497.

Inaga, S. and Okasaka, A. (1995): Calcium and silicon binding compounds in cell walls of rice shoots. *Soil Science and Plant Nutrition* **41**, 103 – 110.

Ishimaru, Y., Bashir, K., Nishizawa, N.K. (2011): Zn uptake and translocation in rice plants. *Rice* **4**, 21 – 27.

Iwashita, A., Sakaguchi, Y., Nakajima, T., Takanashi, H., Ohki, A., Kambara, S. (2005): Leaching characteristics of boron and selenium for various coal fly ashes. *Fuel* **84**, 479 – 485.

Izquierdo, M. and Querol, X. (2012): Leaching behavior of elements from coal combustion fly ash: an overview. *International Journal of Coal Geology* **94**, 54 – 66.

Jabeen, R., Ahmad, A., Iqbal, M. (2009): Phytoremediation of Heavy Metals: Physiological and Molecular Mechanisms. *Botanical Review* **75**, 339 – 364.

Jahns, P. and Holzwarth, A.R. (2012): The role of the xanthophyll cycle and of lutein in photoprotection of photosystem II. *Biochimica et Biophysica Acta* **1817**, 182–193.

Jala, S. and Goyal, D. (2006): Fly ash as a soil ameliorant for improving crop production – a review. *Bioresource Technology* **97**, 1136 – 1147.

James, W.D., Graham, C.C., Glascock, M.D., Hanna, A.S.G. (1982): Water-leachable boron from coal ashes. *Environmental Sciences and Tecnology* **16**, 195 – 197.

Jamil, S., Abhilash, P.C., Singh, A., Singh, N., Behl, H.M. (2009): Fly ash trapping and metal accumulating capacity of plants: Implication for green belt around thermal power plants. *Landscape and Urban Planning* **92**, 136 – 147.

Jarić, S. (2009): Alohtone biljne vrste u prirodnim i antropogeno izmenjenim fitocenozama Srema. Doktorska disertacija. *Poljoprivredni fakultet Univerzitet u Beogradu*, 243.

Javorka, S. and V. Csapody (1975): Ikonographie Der Flora Des Südöstlichen Mitteleuropa. Akademiai Kiadó, Budapest.

Jiang, C.D., Gao, H.Y., Zou, Q. (2002): Characteristics of photosynthetic apparatus in Mn-starved maize leaves. *Photosynthetica* **40**, 209 – 213.

Jin, J., Martens, D.C., Zelazny, L.W. (1987): Distribution and plant availability of soil boron fractions. *Soil Science Society of America. Journal* **51**, 1228.

Johansson, L., Xydas, C., Messios, N., Stolts, E., Greger, M. (2005): Growth and Cu accumulation by plants grown on Cu containing mine tailings in Cyprus. *Applied Geochemistry* **20**, 101 – 107.

Jones, D.R. (1995): The leaching of major and trace elements from coal ash. In: Environmental Aspects od Trace Elements in Coal. Eds: Swaine, D.J., Goodarzi, F. *Springer - Verlag*.

Jonnalagadda, S.B. and Nenzou, G. (1997): Studies on arsenic rich mine tips. II. The heavy element uptake by vegetation. *Journal of Environmental Sciences and Health A* **32**, 455 - 464.

Josifović, M. (1970-1980): Flora SR Srbije I-X, *Srpska Akademija Nauka i Umetnosti. Odeljenje prirodno-matematičkih nauka. Beograd.*

Jovanović S. (1994): Ekološka studija ruderalne flore i vegetacije Beograda. Biološki fakultet Univerziteta u Beogradu, 222.

Jovanović, B. (1973): Rod *Dactylis*. In: Flora SR Srbije V. Ed: Josifović, M. *Srpska Akademija Nauka i Umetnosti. Odeljenje prirodno-matematičkih nauka. Beograd*, 383 – 387.

Jubany-Mari, T., Munne-Bosch, S., Alegre, L. (2010): Redox regulation of water stress responses in field – grown plants. Role of hydrogen peroxide and ascorbate. *Plant Physiology and Biochemistry* **48**, 351 – 358.

Kaakinen, J.W., Jorden, R.M., Lawasani, M.H., West, R.E. (1975): Trace element behavior in coal-firedpower plant. *Environmental Science and Technology* **9,** 862 – 869.

Kabata - Pendias, A. and Pendias, H. (2001): Trace elements in soils and plants. *CRC Press LLC, Boca Raton, London, New York, Washington*, 412.

Kabata – Pendias, A. and Wiacek, K. (1986): Effects of sulphur deposition on trace metal solubility in soils. *Environmental Geochemistry and Health* **8**, 95.

Karabal, E., Yucel, M., Oktem, H.A. (2003): Antioxidant responses of tolerant and sensitive barley cultivars to boron toxicity. *Plant Science* **164**, 925-933.

Kashi, N. and Hirose, T. (1983): Bolting induction in *Oenothera erythrosepala* Borbas in relation to rosette size, vernalization and photoperiod. *Oecologia* **60**, 6 – 9.

Kavanova, M. And Gloser, V. (2005): The Use of Internal Nitrogen Stores in the Rhizomatous Grass *Calamagrostis epigejos* During Regrowth After Defoliation. *Annals of Botany* **95**, 457 – 463.

Kedare, S.B. and Singh, R.P. (2011): Genesis and devolpment of DPPH method of antioxidant assay. *Journal of Food Science and Technology* **48**(4), 412 – 422.

Keles, Y., Oncel I., Yenice, N. (2004): Relationship between boron content and antioxidant compounds in *Citrus* leaves taken from fields with different water source. *Plant Soil* **265**, 345-353.

Keren, R. and Bingham, F.T. (1985): Boron in waters, soils, and plants. *Advances in Soil Sciences* **1**, 230 – 276.

Kerstiens, G. (1996): Signalling across the divide: a wider perspective of cuticular structure: function relationships. *Trends in Plant Science* **1**, 125–129.

Kim, A.G. and Kazonich, G. (2004): The silicate / non-silicate distribution of metals in fly ash and itseffect on solubility. *Fuel* **83**, 2285 – 2292.

Kim, Y-H., Khan, A.L., Kim, D-H., Lee, S-Y., Kim, K-M., Waqas, M., Jung, H-Y., Shin, J-H., Kim, J-G., Lee, I-J. (2014): Silicon mitigates heavy metal stress by regulating P-type heavy metal ATPases, *Oryza sativa* low silicon genes, and endogenous phytohormones. *BMC Plant Biology* **14**, 1-13.

Kisić, D., Ćeran, V., Cokić, Z. (2005): Unapređenje tehnologije biološke rekultivacije pepela i šljake. I savetovanje o deponijama pepela i šljake termoelektrana, Obrenovac. 24 – 25 Maj, Zbornik radova, 161 – 166.

Kisić, D., Ćeran, V., Jovičić, Ž., Nožinić, J., Žbogar, Z. (2009): Ekološki nadzor deponije pepela i šljake TE „Nikola Tesla“. Međunarodna konferencija – I-ISO 14000, Aranđelovac, 395 – 398.

Kisić, D., Cokić, Z., Paunović, E., Žunić, Z., Stanojević, D. (2010): Praćenje uticaja deponija pepela i šljake termoelektana „Nikola Tesla A i B“ (Srbija) na životnu sredinu. Međunarodna konferencija – Otpadne vode, komunalni čvrsti otpad i opasan otpad, Subotica, 29.03 – 1.04. Udruženje za tehnologiju vode i sanitarno inženjerstvo, Beograd, Zbornik radova, 346 – 354.

Kisić, D., Žbogar, Z., Boti-Rajčević, E. (2000): Uticaj deponija pepela i šljake TE „Nikola Tesla“ na životnu sredinu. *Tehnika* **55**, 178 – 171.

Klein, D.H., Andren, A.W., Carter, J.A., Emery, J.F., Feldman, C., Fulkerson, W., Lyon, W.S., Ogle, J.C., Talmi, Y., Hook, R.I., Bolton, N. (1975): Pathways of thirty-seven trace elements through coal – fired power plant. *Environmental Science and Technology* **9,** 973 – 979.

Klinkhamer, P.G.L. and DeJong, T.J. (1993): *Cirsium vulgare* (Savi) Ten: (*Cardus lanceolatus* L., *Cirsium laceolatum* (l.) Scop., non Hill). *Journal of Ecology* **81**, 177 – 191.

Knogge,W. and Weissenbock, G. (1986): Tissue-distribution of secondary phenolic. Biosynthes is in developing primary leaves of *Avena sativa* L. *Planta* **167**, 196-205.

Kobayashi, M., Matoh, T., Azuma, J.I. (1996): Two chains of rhamnogalacturonan II are cross – linked by borate-diol ester bonds in higher plant cell walls. *Plant Physiology* **110**, 1017 – 1020.

Koch, K. and Ensikat, H-J. (2008): The hydrophobic coatings of plant sutfaces: Epicuticular wax cryastals and their morphologies, crystallinity and molecular self-assembly. *Micron* **39**, 759 – 772.

Kojić M., Popović R., Karadžić B. (1997): Vaskularne biljke Srbije kao indikatori staništa. Institut za istraživanja u poljoprivredi "Srbija", *Institut za biološka istraživanja "Siniša Stanković", Beograd.*

Kolattukudy, P.E., Rogers, L.M., Li, D., Hwang, C., Flaishman, M.A. (1995): Surface signaling in pathogenesis. *Proceeding of the National Academy of Sciences, USA* **92**, 4080–4087.

Kösesakal, T. and Ünal, M. (2009): Role of Zinc Deficiency in Photosynthetic Pigments and Peroxidase Activity of Tomato Seedlings. *IUFS Journal of Biology* **68**(2), 113 – 120.

Kostić, O., Mitrović, M., Knežević, M., Jarić, S., Gajić, G., Djurdjević, L., Pavlović, P. (2012): The potential of four woody species for the revegetation of fly ash deposits of „Nikola Tesla – a“ thermoelectric plant (Obrenovac, Serbia). *Archives of Biological Sciences* **64**(1), 145 – 158.

Krause, H.M. and Weis, E. (1991): Chlorophyll fluorescence and photosynthesis: the basics. *Annual Review of Plant Physiology* **42**, 313 – 349.

Krauskopf, K.B (1972): Geochemistry of micronutrients. In: Micronutrients in Agriculture. Eds: Mortvejdt, J.J., Giordano, P.M., Lindsay, W.L. *Soil Science Society of America, Madison*, WI, 7.

Kress, N., Golik, A., Galil, B., Krom, M.D. (1993). Monitoring the disposal of Coal Fly Ash at a deep water disposal site in the Eastern Mediterranean sea. *Marine Pollution Bulletin* **26**(8), 447- 456.

Krieger - Liszkay, A. (2005): Singlet oxygen production in photosynthesis. *Journal of Experimental Botany* **56**, 337 – 346.

Krol, M., Gray, G.R., Hurry, V.M., Oquist, V.M.G., Malek, L., Huner, N.P. (1995): Low-temperature stress and photoperiod affect an increased tolerance to photoinhibition in *Pinus banksiana* seedlings. *Canadian Journal of Botany* **73**, 1119–1127.

Kukier, U. and Sumner, M.E. (1996): Boron availability to plants from coal combustion by-products. *Water, Air and Soil Pollution* **87**, 93 – 110.

Kukier, U., Ishak, C.F., Summer, M.E., Miller, W.P. (2003): Composition and element solubility of magnetic and non-magnetic fly ash fractions. *Environmental Pollution* **123**, 255 – 266.

Kupper, H., Zhao, F., McGrath, S.P. (1999): Cellular compartmentalization of zinc in leaves of the hyperaccumulator *Thlaspi caerulescens*. *Plant Physiology* **119**, 305 – 311.

Kural, B.V., Kucuk, N., Yucesan, F.B., Orem, A. (2011): Effects of kale (*Brassica oleracea L. var. acephala DC*) leaves extracts on the susceptibility of very low and low density lipoproteins to oxidation. *Indian Journal of Biochemistry & Biophysics* **48**, 361–364.

Kusaba, M., Tanaka, A., Tanaka, R. (2013): Stay-green plants:what do they tell us about the molecular mechanism of leaf senescence. *Photosynthesis Research* **117**, 221 – 234.

Kyparissis, A., Petropoulou, Y, Manetas, Y. (1995): Summer survival of leaves in a soft-leaved shrub (*Phlomis fruticosa* L., *Labiatae*) under Mediterranean field conditions: avoidance of photoinhibitory damage through decreased chlorophyll contents. *Journal of Experimental Botany* **46**, 1825-1831.

Lai, H.Y. and Chen, Z.S. (2004): Effects of EDTA on solubility of cadmium, zinc, and lead and their uptake by rainbow pink and vetiver grass. *Chemosphere* **55**, 421 – 430.

Lambers, H., Chapin, F.S., Pons, T.L. (1998): Plant Physiological Ecology. *Springer-Verlag, New York, Inc*, 540.

Landi, M., Degl'Innocenti, E., Pardossi, A., Guidi, L. (2012): Antioxidant and Photosynthetic responses in Plants under Boron toxicity: a review. *American Journal of Agricultural and Biological Sciences* **7**(3), 255 – 270.

Landry, L.G., Chapple, C.C.S., Last, T.L. (1995): *Arabidopsis* Mutants Lacking Phenolic Sunscreens Exhibit Renhanced Ultraviolet-B Injury and Oxidative Damage. *Plant Physilogy* **109**, 1159 – 1166.

Lanquar, V., Ramos, M.S., Lelievre, F., Barbier-Brygoo, H., Krieger-Liszkay, A., Krämer, U., Thomine, S. (2010): Export of Vacuolar Manganese by AtNRAMP3 and AtNRAMP4 is Required for Optimal Photosynthesis and Growth under Manganese Deficiency. *Plant Physiology* **152**, 1986 – 1999.

Lasat, M.M. (2000): Phytoextraction of metals from contaminated sites – a critical review of plant/soil metal interaction and assessment of pertinent agronomic issues. *Journal of Hazardous Substance Research* **2**, 1 - 25.

Lechman, C. and Rebele, F. (2001): Evaluation of heavy metal tolerance in *Calamagrostis epigejos* and *Elymus repens* revealed copper tolerance in a copper smelter population of *C. epigejos*. *Environmental and Experimental of Botany* **51**, 199 – 213.

Lee, R.B. (1982): Selectivity and kinetics of iron uptake by barley plants following nutrient deficiency. *Annals of Botany* **50**, 429 – 449.

Lee, S.E., Hwang, H.J., Ha, J.S., Jeong, H.S., Kim, J.H. (2003): Screening of medicinal plant extracts for antioxidant activity. *Life Science* **73**, 167-179.

Lee, S.H.D., Johnson, I., Fischer, J. (1980): Volatility of selected minor and trace elements in the low-temperature ash of an Illinois herrin no. 6 coal. *Fuel* **59**(11), 816-819.

Leedge, T.A. and Godbolt, G. (1985): Herbaceous response following prescribed burning and seeding of elk range in Idaho. *Northwest Science* **59**(2), 134 – 143.

Leshem, Y.Y. (1992): Plant membrane biophysics in development and senescence. In: Plant membranes: a biophysical approach to structure, development and senescence. Ed: Leshem, Y.Y. *Kluwer Academic Publishers, Boston*, 111 – 154.

Levine, A., Tenhaken, R., Dixon, R. (1994): H_2O_2 from the oxidative burst orchestrates the plant hypersensitive disease resistance response. *Cell* **79**, 583–593.

Li, H.F., McGrath, S.P., Zhao, F.J. (2008): Selenium uptake, translocation and speciation in wheart supplied with selenate or selenite. *New Phytologist* **178**, 92 – 102.

Li, Z., Wakao, S., Fischer, B.B., Niyogi, K.K. (2009): Sensing and responding to excess light. *Annual Review of Plant Biology* **60**, 239–260.

Lichtenthaler, H.K. and Buschmann, C. (2001): Chlorophylls and Carotenoids: Measurement and Characterization by UV-VIS Spectroscopy. *Current Protocols in Food Analytical Chemistry* F4.3.1-F4.3.8.

Lin, Y-F. and Aarts, M.G.M. (2012): The molecular mechanism of zinc and cadmium stress response in plants. *Cellular and Molecular Life Sciences* **69**, 3187 – 3206.

Lindsay W.L., Norvell W.A. (1978): Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. *Soil Science Society of America Journal* **42**, 421-428.

Lindsay, W.L. (1979): Chemical Equilibria in Soils. *Wiley – Interscience, New York*, 449.

Long, S.P., Humphries, S., Falkowski, P.G. (1994): Photoinhibition of photosynthesis in nature. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology* **45**, 633 – 662.

Loomis, W.D., and Durst, R.W. (1992): Chemistry and biology of boron. *BioFactors* **3**: 229– 239.

Lopareva-Pohu, A., Garçon, G., Lounès-Hadj Sahraoui. A., Pourrut, B., Debiane, D., Waterlot, C., Laruelle, F., Bidar, G., Douay, F., Shirali, P. (2011): Influence of fly ash aided phytostabilisation of Pb, Cd and Zn highly contaminated soils on *Lolium perenne* and *Trifolium repens* metal transfer and physiological stress. *Environmental Pollution* **159**(6), 1721–1729.

Lou, L., Shen, Z., Li, X. (2004): The copper tolerance mechanisms of *Elsholtzia haichowensis,* a plant from copper-enriched soils. *Environmental and Experimental Botany* **51**, 111-120.

Lubchenco, J. (1978): Plant species diversity in a marine intetidal community: importance of herbivore food preference and algal competitive abilities. *American Naturalist* **112**, 23 – 39.

Luk, E., Carrol, M., Culotta, V.C. (2003): Manganese activation of superoxide dismutase 2 in *Saccharomyces cerevisae* requires MTM1, a member of the mitochondrial carrier family. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA* **100**, 10353 – 10357.

Maas, E.V. (1990): Crop salt tolerance. In: Agricultural Salinity Assessment and Management. Ed: Tanji, K.K. ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice No71. *American Societyof Civil Engineering, New York*, 262 – 304.

Mack, R.N. and Harper, J. (1977): Interference in dune annuals: special pattern and neighbouthood effects. *Journal of Ecology* **65**, 345 – 363.

Madzhugina, Y.G., Kuznetsov, V.V., Shevykova, N.I. (2008): Plants Inhabiting Polygons for Megapolis Waste as Promising Species for Phytoremediation. *Russian Journal of Plant Physiology* **55**(3), 410 – 419.

Maiti, S.K. and Jaiswal, S. (2008): Bioaccumulation and translocation of metals in the natural vegetation growing on the fly ash dumps: a field study from Santaldih thermal power plant, West Bengal, India. *Environmental Monitoring and Assessment* **136,** 355 – 370.

Maiti, S.K. and Nandhini, S. (2006): Bioavailbility of metals in fly ash and their bioaccumulation in naturally occuring vegetation: a pilot scale study. *Environmental Monitoring and Assessment* **116**, 263 – 273.

Majer, P., Neugart, S., Krumbein, A., Schreiner, M., Hideg, E. (2014): Singlet oxygen scavenging by leaf flavonoids contributes to sunlight acclimation in *Tilia platyphyllos*. *Environmental and Experimental Botany* **100**, 1 – 9.

Mano, S., Yamaguchi, K., Hayashi, M., Nishimura, M. (1997): Stromal and thylakoid-bound ascorbate peroxidases are produced by alternative splicing in pumpkin. *FEBS Letters* **413**, 21–26.

Manoharan, V., Yunusa, I.A.M., Loganathan, P., Lawrie, R., Murray, B.R., Skilbeck, C.G., Eamus, D. (2010): Boron contents and solubility in Australian fly ashes and its uptake by canola (*Brassica napus* L.) from the ash-amended soils. *Australian Journal of Soil Research* 1, Report.

Manthey, J.A.,Grohmann, K., Berhow, M.A., Tisserat, B. (2000): Changes in citrus leaf flavanoid concentrations resulting from blight induced zinc-deficiency. *Plant Physiology and Biochemistry* **38**, 333–343.

Marschner, H. (1995): Mineral Nutrition of higher Plants. Second editions. *Academic Press Limited, London, Great Britain*, 889.

Martinazzo, E.**G**., Ramm, A., Bacarin, M.A. (2012): The chlorophyll *a* fluorescence as an indicator of the temperature stress in the leaves of Prunus persica. *Brazilian Society of Plant Physiology* **24**(4), 237 – 246.

Matas, A.J., Cuartero, J., Herèdia, A. (2004): Phase transitions in the biopolyester cutin isolated from tomato fruit cuticles. *Thermochimica Acta* **409**, 165–168.

Matsi, T. and Tsadilas, C. (2006): Coal Fly Ash Application to Soils and its Effect on Boron Availabilaty to Plants. In: Trace elements in the Environment (Biogeochemistry, Biotechnology and Bioremediation). Eds: Prasad, M.N.V., Sajwan, K.S., Naidu, R. *CRC, Taylor & Francis, Boca Raton*, 3- 23.

Mattigod, S.V., Rai, D., Eary, L.E., Ainsworth, C.C. (1990): Geochemical factors controlling the mobilization of inorganic constituents from fossil fuel combustion residues: I. Review of the major elements. *Journal of Environmental Quality* **19**, 188 – 201.

Mattusch, J., Wennrich, R., Schmidt, A-C., Reisser, W. (2000): Determination of arsenic species in water, soils and plants. *Journal of Analytical Chemistry* **366**, 200-203.

McCauley, A., Jones, C., Jacobson, J. (2009): Plant Nutrient Functions and Defficiency and Toxicity Symptoms. Nutrient Management Module No.9. A self course from the MSU Extension Service Continuing Education Series. *Montana State University, extension*.

McClure, J.M. (1976): Physiology and functions of flavonoids. In: The Flavonoids Eds: Harborne, J.B, Mabry, T., Mabry, H. *Chapman and Hall, London*, 970-1055.

McLean, A. and Clark, M.B. (1980): Grass, trees and cattle on clearcut-logged areas. *Journal of Range Management* **33**(3), 213 – 217.

Meawad, A.**S**., Bojinova, D.V., Pelovski, Y.G. (2010): An overview of metals recovery from thermal power plant solid wastes. *Waste Management* **30**, 2548 – 2559.

Meharg, **A.A.** and Hartley-Whittaker, J. (2002) Arsenic uptake and metabolism in arsenic resistant and nonresistant plant species. *New Phytologist* **154**, 29–43.

Meharg, A.**A**. and MacNair, M.R. (1991): The mechanisms of arsenate tolerance in *Deschampsia cespitosa* L. Beauv. and *Agrostis capillaris* L. *New Phytologist* **119**, 291 – 297.

Memon, A.**R**. and Schröder, P. (2006): Implications of metal accumulation mechanisms to phytoremediation. *Environmental Science and Pollution Research* **16**, 162 – 175.

Mendel, R.**R.** (2007): Biology of the molybdenum cofactor. *Journal of Experimental Botany* **58**(9): 2289 – 2296.

Mendel, R.**R.** (2011): Cell biology of molybdenum in plants. *Plant Cell Report* **30**, 1787 – 1797.

Mendel, R.**R.** and Bittner, F. (2006): Cell biology of molybdenum. *Biochimica et Biophysica Acta* **1763**, 621 – 635.

Mendel, R.**R**. and Hänsch, R. (2002): Molybdoenzymes and molybdenum cofactor in plants. *Journal of Experimental Botany* **53**, 1689 – 1698.

Mene-Saffrane, L., Davoine, C., Stolz, S., Majcherczyk, P., Farmer, E.E. (2007): Genetic Removal of Tri-unsaturated Fatty Acid Suppresses Developmental and Molecular Phenotypes of an *Arabidopsis* Tocopherol-deficient Mutant. *The Journal of Biological Chemistry* **282**(49), 35749 – 35756.

Mengel, K. and Kirkby, E.A. (1978): Principles of Plant Nutrition. International Potash Institute. *Worblaufen – Bern*, 593.

Merilä, P., Malmivaara-Lamsa, M., Spetz, P. (2010): Soil organic matter quality as a link between microbial community structure and vegetation composition along a successional gradient in a boreal forest. *Applied Soil Ecology* **46**, 259 – 267.

Merzlyak, M.N. and Chivkunova, O.B. (2000): Light stress induced pigment changes and evidence for anthocyanin photoprotection in apple fruit. *Journal of Photochemistry and Photobiology. B: Biology* (B) **55**, 154–162.

Metwally, A., El-Shazoly, R., Hamada, A.M. (2012): Effect of boron growrh criteria of some wheat cultivars. *Journal of Biology and Earth Science* **2**(1), 1 – 9.

Michalak, A. (2006): Phenolic Compounds and Their Antioxidant Activity in Plants Growing under Heavy Metal Stress. *Polish Journal of Environmental Studies* **15**(4), 523 – 530.

Mihulka, S. and Pyšek, P. (2001): Invasion history of *Oenothera* congers in Europe: a comparative study of spreading rates in the last 200 years. *Journal of Biogeography* **28**, 597 – 609.

Mihulka, S., Pyšek, P., Martinkova, J., Jarošik, V. (2006): Invasiveness of *Oenothera* congeners alien to Europe: Jack og all trades, master of invasion? *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systemastics* **8**, 83 – 96.

Milivojevic, D.**B**., Nikolic, B.R., Drinic, G. (2006): Effect of arsenic on phosphorius content in different organs and chlorophyll fluorescence in primary leaves of soybean. *Biologia Plantarum* **50**, 149 – 151.

Miteva, E. and Merakchiyska, M. (2002): Response of chloroplasts and photosynthetic mechanism of bean plants to excess arsenic in oil. *Bulgarian Journal of Agricultural Science* **8**, 1 5 1 –56.

Mitrović, M., Jarić, S., Kostić, O., Gajić, G., Karadžić, B., Djurdjević, 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.

Mitrović, M., Pavlović, P., Lakušić, D., Stevanović, B., Djurdjevic, L., Kostić, O., Gajić, G. (2008): The potencial of *Festuca rubra* and *Calamagrostis epigejos* for the revegetation on fly ash deposits. *Science of the Total Environment* **72**, 1090 – 1101.

Mittler, R. (2002): Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. *Trends in Plant Science* **7**(9), 405 – 410.

Mittler, R. and Poulos, T.L. (2005): Ascorbate peroxidase. In: Antioxidants and reactive oxygen species in plants. Ed: Smirnoff, N. *Blackwell Publishing, Oxford*, 87–100.

Mittova, V., Theodoulou, F.L., Kiddle, G., Gomez, L., Volokita, M., Tal, M., Foyer, C.H., Guy, M. (2003): Coordinate induction of glutathione biosynthesis and glutathione-metabolizing enzymes is correlated with salt tolerance in tomato. *FEBS Letters* **554**, 417–421.

Molyneux, P. (2004): The use of the stable free radical diphenylpicryl-hydrazyl (DPPH) for estimating antioxidant activity. *Songklanakarin Journal of Science and Technology* **26**, 211–219.

Morsy, A.A., Salama, K.H.A., Kamel, H.A., Mansour, M.M. (2012): Effect of heavy metals on plasma membrane lipids and antioxidant enzymes of *Zygophyllum* species. *Eurasian Journal of Biosciences* **6**, 1 – 10.

Motlhanka, D.M.T., Habtemariam, S., Houghton, P. (2008): Free Radical Scaveging Activity of Crude Extracts and 4'-O-Methylepigallocatechin Isolated From Roots of *Cassine Transvaalensis* Burt-Davy from Bratislava. *African Journal of Biomedical Research* **11**, 55 – 63.

Muchhal, U.S. and Raghothana, K.G. (1999): Transcriptional regulation of plant phosphate transporters. *Proc Natl Acad Sci USA* **96**, 5868 – 5872.

Mueller, M.J. (1998): Redically novel prostaglandins in animals and plants: the isoprostanes. *Chemistry and Biology* **5**, 323 – 333.

Mueller, M.J. (2004). Archetype signals in plants: The phytoprostanes. *Current Opinion in Plant Biology* **7**, 441-448.

Mulhern, D.**W.**, Robel., R.J., Furness, J.C., Hensley, D.L. (1989): Vegetation of waste disposal areas at a coal-fired power plant in Kansas. *Journal of Environmental Quality* **18,** 285 – 292.

Mummey, D.**L**., Stahl, P.D., Buyer, J.S. (2002): Soil microbiological properties 20 years after surface mine reclamation: spatial analysis of reclaimed and undisturbed sites. *Soil Biology and Biochemistry* **34**, 1717 – 1725.

Munne-Bosch, S. and Alegre, L. (2000): Changes in carotenoids, tocopherols and diterpenes during drought and recovery, and the biological significance of chlorophyll loss in *Rosmarinus officinalis* plants. *Planta* **210**, 925–931.

Munné-Bosch, S. and Alegre, L. (2004): Die and let live: leaf senescence contributes to plant survival under drought stress. *Functional Plant Biology* **31**, 203-216.

Mysliwa – Kurdziel, B. and Strzalka, K. (2002): Influence of metals on biosynthesis of photosynthetic pigments. In: Physilogy and Biochemistry of Metal Toxicity and Tolerance in Plants. Eds: Prasad, M.N.V., Strzalka, K. *Kluwer Publishers, Dordrecht, the Netherlands*, 201 - 227.

Mysliwa – Kurdziel, B., Prasad, M.N.V., Strzalka, K. (2002): Heavy metal influence on the light phase of photosynthesis. In: Physilogy and Biochemistry of Metal Toxicity and Tolerance in Plants. Eds: Prasad, M.N.V., Strzalka, K. *Kluwer Publishers, Dordrecht, the Netherlands*, 229 – 255.

Nable, R.O. (1988): Resistance to boron toxicity amongst several barley and wheat cultivars: A preliminary examination of the resistance mechanism. *Plant and Soil* **112**, 45 – 52.

Nable, R.O., Bañuelos, G.S., Paull, J.G. (1997): Boron toxicity. *Plant and Soil* **193**, 181 – 198.

Nable, R.O., Paull, J.G., Cartwright, B. (1990): Problems associated with the use of foliar analysis for diagnosing B toxicity in barley. *Plant Soil* **128**, 225 – 232.

Nardini, M., D'Aquino, M., Tomassi, G., Gentili, V., De Felice, M., Scaccini, C. (1995): Inhibition of human low-density lipoprotein oxidation, by caffeic acid and other hydroxycinnamic acid derivatives. *Free Radical Biology and Medicine* **19**, 541 - 552.

Narukawa, T., Riley, K.W., French, D.H., Takatsu, A., Chiba, K. (2003): Investigation into the relationship between major and minor element contents and particle size and leachability of boron in fly ash from coal fuel thermal power plants. *Journal of Environmental Monitoring* **5**, 831-836.

Neill, S.O. (2002): The functional role of anthocyanins in leaves. Doctoral thesis, *Scholl of Biological Sciences, University of Auckland*.

Neill, S.O. and Gould, K.S. (2003): Anthocyanins in leaves: light attenuators or antioxidants? *Functional Plant Biology* **30**, 865–873.

Norrish, K. (1975): The geochemistry and mineralogy of trace elements. In: Trace Elements in Soil-Plant –Animal Systems. Eds: Nicholas, D.J.D. and Egan, A.R., *Academic Press, New York,* 55.

Nutgeren, H.W., Janssen – Jurkovicova, M., Scarlett, B. (2001): Improvement of environmental quality of coal fly ash by applying forced leaching. *Fuel* **80**, 873 – 877.

O'Neill, M.A., Ishii, T., Albersheim, P., Darvil, A.G. (2004): Rhamnogalacturonan II: structure and function of a borate cross-linked cell wall pectic polysaccharide. *Annual Review of Plant Biology* **55**, 109–139.

Obradović, Lj., Urošević, D., Tomić, G. (2010): Fizička karakterizacija pepela i šljake sa deponije pepela u Medoševcu. *Komitet za podzemnu eksplotaciju mineralnih sirovina* **1**, 57 – 62.

O'Gorman, J.V., and Walker, P.L. (1972): Mineral matter and trace elements in U.S. coals: *Washington, D.C., U.S. Government Printing Office*, 183.

Öquist, G. and Wass, R. (1988): A portable microprocessor operated instrument for measuring chlorophyll fluorescence kinetics in stress physiology. *Physiologia Plantarum* **73**, 211 – 217.

Ortunez, E. and Cano-Ruiz, J. (2013): Epidermal micromorphology of the genus *Festuca* L. subgenus *Festuca* (*Poaceae*). *Plant Systematics and Evolution* **299**(8), 1471 – 1483.

Page, A.L., Elseevi, A.A., Straughan, I.R. (1979): Physical and chemical properties of fly ash from coal fired power plants with reference to environmental impacts. *Residue Reviews* **71**, 83 – 120.

Page, M., Sultana, N., Paszkiewicz, K., Florance, H. Smirnoff, N. (2012): The influence of ascorbate on anthocyanin accumulation during high light in *Arabidopsis thaliana*: further evidence for redox control of anthocyanin synthesis. *Plant, Cel and Environment* **35**, 388 – 404.

Pagenkopf, G.K. and J.M. Connolly (1982): Retention of boron by coal ash. *Environmental Science and Technology* **16**, 609-613.

Päivöke, A.E.A. and Simola, L.K. (2001): Arsenate Toxicity to Pisum sativum: Mineral Nutrients, Chlorophyll Content and Phytase Activity. *Ecotoxicology and Environmental Safety* **49**, 111 – 121.

Pančić J. (1878): Flora u okolini beogradskoj - po analitinoj sistemi. *Državna štamparija*, Beograd.

Pandey, P. and Tripathi, A.K. (2011): Effect of Heavy Metals on Morfological and Biochemical characteristics of *Albizia procera* (Roxb.) Benth. Seedlings. *International Journal of Environmental Sciences* **1**(5), 1009 – 1018.

Pandey, P.P., Tripathi, A.K., Dwivedi, V. (2011): Effect of Heavy Metals on Some Biochemical Parameters of Sal (*Shorea robusta*) Seedlings at Nursery Level, Doon Valley, India. *Journal of Agricultural Science* **2**(1), 45 – 51.

Pandey, V.C. (2012): Invasive species based efficient green technology for phytoremediation of fly ash deposits. *Journal of Geochemical Exploration* **123**, 13 – 18.

Pandey, V.C. and Singh, K. (2011): Is *Vigna radiata* suitable for the revegetation of fly ash landfils? *Ecological Engineering* **37**, 2105 – 2106.

Pandey, V.C., Abhilash, P.C, Singh, N. (2009): The Indian perspective of utilizing fly ash in phytoremediation, phytomanagement and biomass production. *Journal of Environmental Management* **90**, 2943 – 2958.

Papadakis, I., Dimassi, K., Bosabalidis, A., Therios, I., Patakas, A., Giannakoula, A. (2004): Boron toxicity in 'Clementine' mandarin plants grafted on two rootstocks. *Plant Science* **166**, 539-547.

Pasqualini, V., Robles, C., Garzino, S. Greff, S., Bousquet-Melou, A., Bonin, G. (2003): Phenolic compounds content in *Pinus halepensis* Mill. needles: a bioindicator of air pollution. *Chemosphere* **52,** 239-248.

Pavlović, P. and Mitrović, M**.** (2013): Termoelektrane u Srbiji – uticaj pepela na zemljište i biljke. Energetika i životna sredina. Ed: Andjelković, M. *Srpska akademija nauka i umetnosti*, 403 – 431.

Pavlović, P., Mitrović, M., Djurdjevic, L. (2004): An ecophysiological study of plants growing on the fly ash deposits from the „Nikola Tesla – A" thermal power station in Serbia. *Environmental Management* **33**, 654 – 663.

Pavlović, P., Mitrović, M., Djurdjević, L., Gajić, G., Kostić, O., Bojović, S. (2007): Ecological potencial of *Spiraea van-houttei* (Briot.) Zab. For utban (Belgrade city) and fly ash deposit (Obrenovac) landscaping in Serbia. *Polish Journal of Environmental Studies* **16**(3), 427 – 431.

Pedas, P., Hebbern, C.A., Schjoerring, J.K., Holm, P.E., Husted, S. (2005): Differential Capacity for High-Affinity Manganese Uptake Contributes to Differences between Barley Genotypyes in Tolerance to Low Manganese Availability. *Plant Physiology* **139**, 1411 – 1420.

Peng, X.L., Liu, Y.Y., Luo, S.G. (2002): Effects of selenium on lipid peroxidation and oxidizing ability of rice roots under ferrous stress. *Journal of Northeast Agricultural University* **1**9, 9 – 15.

Pierzynski, G.M., Sims, J.T., Vance., G.F. (1994): Soils and environmental quality. *Lewis Publication Boca Raton, FL.*

Pilbeam, D.J. and Kirkby, E.A. (1983). The physiological role of boron in plants. *Journal of Plant Nutrition* **6**, 563-582.

Pilon – Smits, E. (2005): Phytoremediation. *Annual Review of Plant Biology* **56**, 15 – 39.

Pilon - Smits, E.A.H., de Souza, M.P., Hong, G., Amini, A., Bravo, R.C. (1999): Selenium volatilization and accumulation by twenty aquatic plant species. *Journal of Environmental Quality* **28**, 1011-1017.

Plank, C.O., Martens, D.C., Hallock, D.L. (1975): Effect of soil application of fly ash on chemical composition and yield of corn (*Zea mays* L.) and on chemical composition of displaced soil solutions. *Plant and Soil* **42**, 465 – 476.

Popović, A. (2002). Specijacija mikroelemenata pepela i lignita. Doktorska disertacija. *Hemijski fakultet Univerzitet u Beogradu*, 247.

Popović, A., Djordjević, D., Relić, D. (2013): Association and Pollution Potencial of Selected Trace and Major Elements in Filter Lignite Ash from the „Nikola Tesla – A“ Power Plant (Obrenovac, Serbia) (I) – Leaching Experiments. *Energy Sources, Parth A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects* **35**(6), 529 – 537.

Porter, E.K. and Peterson, P.J. (1977): Arsenic tolerance in grasses growing on mine waste. *Environmental Pollution* **14**, 255 – 265.

Potters, G., De Gara, L., Asard, H., Horemans, N. (2002): Ascorbate and glutathione: guardians of the cell cycle, paterns in crime? *Plant Physiology and Biochemistry* **40**, 537 – 548.

Pöykiö, R., Manskinen, K., Dahl, O., Mäkelä, M., Nurmesniemi, H. (2011): Release of Elements in Bottom Ash and Fly Ash from Incineration of Peat – and Wood – Residues using a Sequential Extracttion Procedure. *World Academy of Science, Engineering and Technology* **60**, 1417 – 1421.

Prakash, A. (2001): Antioxidant activity. *Med Lab Anal Prog* **19**(2), 1–6.

Prasad, M.N.V. (2006): Plants that accumulate and/or exclude toxic trace elements play an important role in phytoremediation. In: Trace elements in the Environment (Biogeochemistry, Biotechnology and Bioremediation). Eds: Prasad, M.N.V., Sajwan, K.S., Naidu, R. *CRC, Taylor & Francis, Boca Raton*, 523 – 547.

Prasad, M.N.V. (2006): Stabilization, remediation, and Integrated Management of Metal – contaminated ecosystems by grasses. In: Trace elements in the Environment (Biogeochemistry, Biotechnology and Bioremediation). Eds: Prasad, M.N.V., Sajwan, K.S., Naidu, R. *CRC, Taylor & Francis, Boca Raton*, 405 – 424.

Prasad, T.K., Anderson, M.D., Martin, B.A., Stewart, C.R. (1994): Evidence for chilling induced oxidative stress in maize seedlings and regulatory role of hydrogen peroxide. *The Plant Cell* **6**, 65-74.

Proctor, J.T A. (1974): Colour stimulation in attached apples with supplementary light. *Canadia Journal of Plant Science* **54**, 499–503.

Prüm, B., Seidel, R., Bohn, H.F., Speck, T. (2012): Impacts of cell shape in hierarchically structured plant surfaces on the attachment of male Colorado potato beetles (*Leptinotarsa decemlineata*). *Beilstein Journal of Nanotechnology* **3**, 57 – 64.

Puig, S., Colas, N., Garcia – Molina, A., Penarrubia, L. (2007): Copper and iron homeostasis in Arabidopsis: responses to metal deficiencies, interactions and biotechnological applications. *Plant, Cell and Environment* **30**, 271 – 290.

Qian, M., Li, X.D., Shen, Z.G. (2005): Adaptive copper tolerance in *Elsholtiza haichowensis* involves production of Cu-induced thiol peptides. *Plant Growth Regulation* **47**, 65–73.

Querol, X., Fernandez-Turiel, J, Lopez-Soler, A. (1995): Trace elements in coal and their behavior during combustion in a large power station. *Fuel* **74**, 331 – 343.

Querol, X., Juan, R., Lopez-Soler, A., Fernandez-Turiel, J.L., Ruiz, C.R. (1996): Mobility of trace elements from coal and combustion wastes. *Fuel* **75**, 821-838.

Querol, X., Umana, J.C., Alastuey, A., Ayora, C., Lopez-Soler, A., Plana, F. (2001): Extraction of soluble major and trace elements from fly ash in open and closed leaching systems. *Fuel* **80**, 801 – 813.

Quina, F.**H**., Moreira, P.F., Vautier-Giongo, C., Rettori, D., Rodrigues, R.F., Freitas, A.A., Silva, P.F., Macanita, A.L. (2009): Photochemistry of anthocyanins and their biological role in plant tissues. *Pure and Applied Chemistry* **81**(9), 1687 – 1694.

Rahman, M.A., Hasegawa, H., Rahman, M.M., Rahman, M.A. and Miah, M.A. (2007): Accumulation of arsenic in tissues of rice plant (*Oryza sativa* L.) and its distribution in fractions of rice grain. *Chemosphere* **69**, 942-948.

Ramel, F., Birtic, S., Cuine, S., Triantaphylides, C., Ravant, J-L., Havaux, M. (2012a): Chemical Quenching of Singlet Oxygen by Carotenoids in Plants. *Plant Physiology* **158**, 1267 – 1278.

Ramel, F., Mialoundama, A.S., Havaux, M. (2013): Nonenzymic carotenoid oxidation and photooxidative stress signalling in plants. *Journal of Experimental Botany* **64**(3), 799 – 805.

Ramel., **F.,** Birtic, S., Ginies, C., Soubigou-Taconnat, L., Triantaphylides, C., Havaux, M. (2012b): Carotenoid oxidation products are stress signals that mediate gene responses to singlet oxygen in plants. *Proceedings of the National Academy of Science, USA* **109**, 5535 – 5540.

Randjelović, D., Cvetković, V., Mihailović, N., Jovanović, S. (2014): Relation between edaphic factors and vegetation development on copper mine wastes: a case study from Bor (Serbia, SE Europe). *Environmental Management* **53**, 800 – 812.

Rani, N., Dhillon, K.S., Dhillon, S.K. (2005): Critical levels of selenium in different crops grown in an alkaline silty loam soil treated with selenite. *Plant Soil* **277**, 367 – 374.

Rao, K.V.M., Raghavendra, A.S., Reddy, K.J (2006): Physiology and Molecular Biology of Stress Tolerance in Plants. *Springer, Dodrecht, The Netherlands*, 345.

Raskin, I., Smith, R.D., Salt, D.E. (1997): Phytoremediation of metals: using plants to remove pollutants from the environment. *Current Opinion in Biotecnology* **8**, 221 – 226.

Ratafia-Brown, J.A. (1994): Overview of trace element partitioning in flames and furnaces of utility coal-fired boilers. *Fuel Processing Technology* 39 (1-3), 139–157.

Rebele, F. and Lehmann, C. (2001): Biological flora of Central Europe: *Calamagrostis epigejos* (L.) Roth. *Flora* **196**, 325 – 344.

Redman, A.D., Macalady, D.L., Ahmann, D. (2002): Natural organic matter affects arsenic speciation and sorption onto hematite. *Environmental Science and Technology* **36**(13), 2889 – 2896.

Reeder, J.D. (1985): Fate of nitrogen-l5-labelled fertilizer nitrogen in revegetated Cretaceous coal spoils. *Journal of Environmental Quality* **14**, 126–131.

Reid, R.J., Haynes, J.E., Post, A., Stangoulis, J.C.R., Graham, R.D. (2004): A critical analysis of the boron toxicity in plants. *Plant Cell Environment* **27**, 1405 – 1414.

Ren, G., An, K., Liao, Y., Zhou, X., Cao, Y., Zhao, H., Ge, X., Kuai, B. (2007): Identification of a novel chloroplast protein AtNYE1 regulating chlorophyll

degradation during leaf senescence in *Arabidopsis*. *Plant Physiology* **144**, 1429–1441.

Rice-Evans, C.A., Miller, J.M., Paganga, G. (1996): Structure-antioxidant activity relationship of flavonoids and phenolic acids. *Free Radical Biology and Medicine* **20**, 933Ð956.

Richardson, D.M., Pyšek, P., Rejmanek, M., Barbour, M.G., Panetta, F.D., West, C.J. (2000): Naturalization and invasions of alien plants: concepts and definitions. *Diversity and Distributions* **6**, 93 – 107.

Rieuwerts, J.S., Thornton, I., Farago, M.E. and Asmore, M.R. (1998): Factors infuencing Metal bioavailability in soils: preliminary investigations for the development of a critical loads approach for metals. *Chemical Speciation and Bioavailability* **10**(2), 61–75.

Riley, K.W., French, D.H., Lambropoulos, N.A., Farrell, O.P., Wood, R.A., Huggins, F.E. (2007): Origin and occurence of selenium in some Australian coals. *International Journal of Coal Geology* **72**, 72 – 80.

Robberecht, R. and Caldwell, M.M. (1983): Protective mechanisms and acclimation to solar ultraviolet-B radiation in *Oenothera stricta. Plant, Cell and Environment* **6**(6), 477 – 485.

Roberts, H.A. (1981): Seed banks in soils. *Applied Biology* **5**, 1 – 55.

Robson, A.D., Hartley, R.D., Jarvis, S.C. (1981): Effect of copper deficiency on phenolic 1073 and other constituents of wheat cell walls. *New Phytologist*, **89**, 361-371.

Roca, M., James, C., Pružinska, A., Hörtensteiner, S., Thomas, H., Ougham, H. (2004): Analysis of the chlorophyll catabolism pathway in leaves of an introgression senescence mutant of *Lolium termulentum*. *Phytochemistry* **65**, 1231 – 1238.

Rovinskiy, F.J., Kolockov, I.A., Czepanov, J.P., Voroncov, A., I., Pastuhov, B.J., Rusina, E.N. (1979): Background studies within complex monitoring of environmental pollution. In: Problemy Ekologiczeskovo Monitoringa i Modelirovaniya Ekosystem 2. *Gidrometeoizdat, Leningrad*, 134.

Rozama, J., Rozama-Dijust, E., Freijsen, A.H.J., Huber, J.J.L. (1978): Population differentiation within Festuca rubra L. with regard to soil salinity and soil water. *Oecologia* **34**, 329 – 341.

Russell, W.B. (1985): Vascular flora of abandoned coal-mined land, Rocky Mountain Foothills, Alberta. *Canadian Fiel-Naturalist* **99**(4), 503 – 516.

Saffari, Y. and Sadrzadeh, S.M.H. (2004): Green tea metabolite EGCG protect membranes against oxidative damage in vitro. *Life Scien*ce **74**, 1513 – 1518.

Sakuraba, Y., Schelbert, S., Park, S-Y., Han, S-H., Lee, B-D., Andres, C.B., Kessler, F., Hörtensteiner, S., Paek, N-C. (2012): Stay-green and Chlorophyll Catabolic Enzimes Interact at Light-Harvesting Complex II for Chlorophyll Detoxification during Leaf Senescence in *Arabidopsis*. *The Plant Cell* **24**, 507 – 518.

Salt, D.E., Blaylock, M., Kumar, P.B.A.N., Dushenkov, V., Ensley, B.D., Chet, I., Raskin, I. (1995): Phytoremediation: A novel strategy for the removal of toxic metals from the environment using plants. *Biotechnology* **13**, 468 – 475.

Santos, R.M., Fortes, G.A.C., Ferri, P.H., Santos, S.C. (2011): Influence of foliar nutrients on phenol levels in leaves of *Eugenia uniflora. Brazilian Journal of Pharmacognosy* **21**(4): 581-586.

Sasaki, A., Yamaji, N., Yokosho, K., Ma, J.F. (2012): Nramp5 is a Major Transporter Responsible for Manganese and Cadmium Uptake in Rice. *The Plant Cell* **24**, 2155 – 2167.

Sattler, S.E., Mene-Saffrane, L., Farmer, E.E., Krischke, M., Mueller, M.J., DellaPenna, D. (2006): Nonenzymatic Lipid Peroxidation Reprograms Gene Expression and Activates Defense Markers in *Arabidopsis* Tocopherol – Deficient Mutants. *The Plant Cell* **18**, 3706 – 3720.

Sawidis, T., Chettri, M.K., Papaioannou, A., Zachariadis, A., Stratis, J. (2001): A study of metal distribution from lignite fuels using trees as biological monitors. *Ecotoxicology and Environmental Safety* **48**, 27–35.

Sawidis, T., Metentzoglou E., Mitrakas, M., Vasara, E. (2011): A Study of Chromium, Copper, and Lead Distribution from Lignite Fuels Using Cultivated and Non-cultivated Plants as Biological Monitors. *Water Air and Soil Pollution* **220**, 339 – 352.

Schat, H., Llugany M., Vooijs, R., Hartley – Whitaker, J., Bleeker, P.M. (2002): The role of phytochelatins in constitutive and adaptive heavy metal tolerances in hyperaccumulator and non-hyperaccumulator metallophytes. *Journal of Experimental Botany* **53**, 2381 – 2392.

Schmid-Siegert, E., Loscos, J., Farmer, E.E. (2012): Inducible Malondialdehyde Pools i Zones of Cell Proliferation and Developing Tissues in Arabidopsis. *The Journal of Biological Chemistry* **287**(12), 8954 – 8962.

Schmöger, M.E.V., Oven, M., Grill, E. (2000): Detoxification of arsenic by phytochelatins in plants. *Plant Physiology* **122**, 793 – 801.

Schönherr, J. (2001): Cuticular penetration of calcium salts: effects of humidity, anions, and adjuvants. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* **164**, 225–231.

Schönherr, J. (2006): Characterization of aqueous pores in plant cuticles and permeation of ionic solutes. *Journal of Experimental Botany* **57**, 2471–2491.

Schönherr, J. and Luber, M. (2001): Cuticular penetration of potassium salts: effects of humidity, anions, and temperature. *Plant and Soil* **236**, 117–122.

Schönherr, J., Fernandez, V., Schreiber, L. (2005): Rates of cuticular penetration of chelated Fe(III): Role of humidity, concentration, adjuvants, temperature and type of chelate. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **53**, 4484–4492.

Schreiber, L. (2005): Polar Paths of Diffusion across Plant Cuticles: New Evidence for an Old Hypothesis. *Annals of Botany* **95**, 1069 – 1073.

Schrek, E., Foucault, Y., Sarret, G., Sobanska, S., Cecilion, L., Castres-Rouelle, M., Uzu, G., Dumat, C. (2012): Metal and metalloid foliar uptake by various plant species exposed to atmospheric industrial fallout: Mechanisms involved for lead. *Science of Total Environment* **427 – 428**, 253 – 262.

Sekhar, C.K. and Prasad, M.N.V. (2006): Risk Assessment, Pathways, and Trace Element Toxicity of Sewage Sludge-Amended Agroforestry and Soils. In: Trace elements in the Environment (Biogeochemistry, Biotechnology and Bioremediation). Eds: Prasad, M.N.V., Sajwan, K.S., Naidu, R. *CRC, Taylor & Francis, Boca Raton*, 633 – 657.

Senior C.L., Helble J.J., Sarofim A.F. (2000): Emissions of mercury, trace elements, and fine particles from stationary combustion sources. *Fuel Processing Technology*, **65–66**, 263–288.

Shah, P.S., Prince, V., Nelson, P.F. (2008): Speciation od As, Cr, Se and Hg under coal fired power station conditions. *Fuel* 87, 1859 – 1869.

Sharma, I. (2013): Arseni-induced Oxidative Stress and Antioxidant Defense System of *Pisum sativum* and *Pennisetum typhoides*: A Comparative Study. *Research Journal of Biotechnology* **8**(4), 48 – 56.

Shaw, P.J.A. (1996): Role of seedbank substrates in the revegetation of fly ash and gypsum in the United Kingdom. *Restoration Ecology* **4**(1), 61 – 70.

Shigaki, T., Pittman, J.K., Hirschi, K.D. (2003): Manganese specifity determinants in the *Arabidopsis* metal/H^+ antiporter CAX2. *Journal of Biological Chemistry* **279**, 9091 – 9096.

Shpirt, M.Ya and Punanova, S.A. (2007): Comparative Assessment of the Trace-Element Composition of Coals, Crude Oils and Oil Shales. *Solid Fuel Chemistry* **41**(5), 267 – 279.

Shrift, A. and Urlich, J.M. (1976): Transport of selenate and selenite into *Astragalus* roots. *Plant Physiology* **44**, 893 – 896.

Shu, W.S., Ye, Z.H., Lau, C.Y., Zhang, Z.Q. (2002): Lead, zinc and copper accumulation and tolerance in populations of *Paspalum disticum* and *Cynodon dactylon*. *Environmental Pollution* **120**, 445 – 453.

Sims, J.T. and Kline, J.S. (1991): Chemical fractionation and plant uptake of heavy metals in soils amended with co-composted sewage sludge. *Journal of Environmental Quality* **20** (2), 387–395.

Sinclair, S.A. and Krämer, U. (2012): The zinc homeostasis network of land plants. *Biochimica et Biophysica Acta* **1823**, 1553 – 1567.

Singh, D.P., Beloy, J., McInerney, J.K., Day, L. (2012). Impact of boron, calcium and genetic factors on vitamin C, carotenoids, phenolic acids, anthocyanins and antioxidant capacity of carrots (*Daucus carota*). *Food Chemistry* **132**, 1161–1170.

Singh, M.H., Singh, H., Bhandari, D.K. (1980): Interaction of selenium and sulphur on the growth and chemical composition of raya. *Soil Science* **129**, 238 – 244.

Singh, N. and Ma L.Q. (2007): Assessing Plants for Phytoremediation of Arsenic – Contaminated Soils. In: Methods in Biotechnology 23: Phytoremediation: Methods and Reviews. Ed: Willey, N. *Humana Press Inc., Totowa, NJ,* 319 – 347.

Singh, N., Ma, L.Q., Srivastava, M., Rathinasabapathi, B. (2006): Metabolic adaptations to arsenic-induced oxidative stress in *Pteris vittata* L. and *Pteris ensiformis* L. *Plant Science* **170**, 274 – 282.

Singh, N., Raj, A., Khare, P.B., Tripathi, R.D., Jamil, S. (2010): Arsenic accumulation pattern in 12 Indian ferns and assesing the potencial of *Adiantum capillus-veneris* in comparation to *Pteris vittata*, as arsenic hyperaccumulator. *Bioresource Technology* **101**, 8960 – 8968.

Smirnoff, N. (1993): The role of active oxygen in the response of plants to water deficit and desiccation. *New Phytologist* **125**, 27--58.

Smirnoff, N. (1996): The Function and Metabolism of Ascorbic Acid in Plants. *Annals of Botany* **78**, 661 – 669.

Smirnoff, N. (2005): Ascorbate, tocopherol and carotenoids: metabolism, pathway engineering and function. In: Antioxidants and Reactive Oxgen Species in Plants. Ed: Smirnoff, N. *Blackwell Publishing Ltd, Oxford, UK*, 353 – 86.

Smirnoff, N. and Wheeler, G.L. (2000): Ascorbic Acid in Plants: Biosynthesis and Function. *Critical Reviews in Biochemistry and Molecular Biology* **35**(4): 291 – 314.

Smith, G., and Markham, K. (1998): Tautomerism of flavonol glucosides: relevance to plant UV protection and flower colour. *Journal Of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry* **118**, 99- 105.

Smith, R.A. and Bradshaw, A.D. (1979): The use of metal tolerant plant populations for the reclamation of metalliferous wastes. *Journal of Applied Ecology* **16**: 595 — 612.

Smoliak, S., Penney, D., Harper, A.M., Horricks, J.S. (1981): Alberta forage manual. Edmonton, AB. *Aberta Agriculture, Print Media Brach*, 87.

Song, W.Y., Choi, K.S., Kim, Y., Geisler, M., Park, J., Vincenzetti, V., Schellenberg, M., Kim, S.H., Lim, Y.P.K., Noh, E.W., Lee, Y., Martinoa, E. (2010): *Arabidopsis* PCR2 is a zinc exporter involved in both zinc extrusion and long-distance zinc transport. *The Plant Cell* **2**, 2237-2252.

Sors, T.**G**., Ellis, D.R., Salt, D.E. (2005): Selenium uptake, translocation, assimilation and metabolic fate in plants. *Photosynthesis Research* **86**, 373 – 389.

Spears, D.**A.** and Martinez-Tarrazona, M.R. (2004): Trace elements in combustion residues from a UK power station. *Fuel* **83**, 1765 – 1770.

Srivastava, S. and Sharma, Y.K. (2013): Impact of Arsenic Toxicity on Black Gram and Its Amelioration Using Phospate. *ISRN Toxicology* **ID 340925**, 1-8.

Stevanović, B., Dražić, G., Tomović, G., Šinžar-Sekulić, J., Melovski, Lj., Novović, I., Marković, D. M. (2010): Accumulation of arsenic and heavy metals in some *Viola*

species from an abandoned mine, Alchar, Republic of Macedonia (FYROM). *Plant Biosystems* **144**(3): 644-655.

Stevanović, B., Janković, M. (2001): Ekologija biljaka sa osnovama fiziološke ekologije biljaka. *NNK International, Beograd*, 514.

Steyn, W.J., Wand, S.J.E., Holcroft, D.M., Jacobs, G. (2002): Anthocyanins in vegetative tissues: a proposed unified function in photoprotection. *New Phytologist* **155**, 349 – 361.

Stoeva, N., Berova, M., Zlatev, Z. (2004): Physiological response of maize to arsenic contamination. *Biologia Plantarum* **47**, 449-452.

Stojanović, D., Vučković, M., Filipović, R., Kostić, G. (1994): Thermal power plants pollute the environment with mercury and arsenic. *Plant Soil* **43**, 95 – 100 (in Serbian).

Stubbendieck, J., Hatch, S. L., Hirsch, K.J. (1986): North American range plants. Lincoln, NE. *University of Nebraska Press*, 465.

Su, D.C. and Wong, J.W.C. (2003): Chemical speciation and phytoavailability of Zn, Cu, Ni and Cd in soil amended with fly ash-stabilized sewage sludge. *Environment International* **29**, 895 – 900.

Swajne, D.J. (1995): The formation, composition, and utilization of fly ash. In: Environmental Aspects of Trace Elements in Coal. Eds: Swaine, D.J. and Goodarzi, F. *Springer – Verlag,* 204 – 221.

Symons, A.M., Dowling, E.J., Park, D.V. (1988): Lipid peroxidation, free radicals, and experimental inflamation. In: Oxygen radicals in biology and medicine. Eds: Simic, M.G., Taylor, K.A., Ward, J.A., Clemens, V.S. *Plenum Press, New York*, 87 – 95.

Takahama, U. (1983): Suppression of lipid photoperoxidation by quercetin and its glycosides in spinach chloroplasts. *Photochemistry and Photobiology* **38**, 363-367.

Takahama, U. and Oniki, T. (1997): A peroxidase / phenolics / ascorbate system can scavenge hydrogen peroxide in plant cell. *Physiologia Plantarum* **101**, 845 – 852.

Takano, J., Kobayashi, M., Noda, Y., Fujiwara, T. (2007): *Saccharomyces cerevisiae* Bor1p is a boron exporter and a key determinant of boron tolerance. *FEMS Microbiology Letters* **267**, 230 – 235.

Takano, J., Miwa, K., Fujiwara, T. (2008): Boron transport mechanisms: collaboration of channels and transporters. *Trends in Plant Science* **13**(8), 451 – 457.

Tattini, M., Guidi, L., Morassi-Bonzi, L., Pinelli, P., Remorini, D., Innocenti, E., Giordano, C., Massai, R., Agati, G. (2005): On the role of flavonoids in the integrated mechanisms of response of *Ligustrum vulg*are and *Phillyrea la*tifolia to high solar radiation. *New Phytologist* **167**, 457-470.

Tavallali, V., Rahemi, M., Eshghi, S., Kholdebarin, B., Ramezanian, A. (2010): Zinc alleviates salt stress and increases antioxidant enzyme activity in the leaves of pistachio (*Pistacia vera* L. 'Badami') seedlings. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry* **34**(4), 349-359.

Tejada, - Jimenez, M., Galvan, A., Fernandez, E., Llamas, A. (2009): Homeostasis of the micronutrients Ni, Mo, and Cl with specific biochemical functions. *Current Opinion in Plant Biology* **12**, 358 – 363.

Telfer, A. (2002): What is carotene doing in the photosystem II reaction centre. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences* **357**, 1431 – 1440.

Terao, J., Piskula, M., Yao, Q. (1994): Protective effect of epicatechin gallate and quercetin on lipid peroxidation in phospholipid bilayers. *Architecture Biochemistry Biophysics* **308**, 278-284.

Terry, N.A.M., Zayed, M.P., de Souza, M.P., Tarun, A.S. (2000): Selenium in higher plants. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology* **51**, 401 – 432.

Thomas, H. (1987): Sid: a Mendelian locus controlling thylakoid membrane disassembly in senescing leaves of *Festuca pratensis*. *Theoretical and Applied Genetics* **73**, 551–555.

Thomas, H. (1997): Chlorophyll: a symptom and a regulator of plastid development. *New Phytologist* **136**, 163–181.

Thomas, H. and Howarth, C.J. (2000): Five ways to stay green. *Journal of Experimental Botany* **51**, 329–337.

Thomas, H., Bortlik, K., Rentsch, D., Schellenberg, M., Matile, P. (1989): Catabolism of chlorophyll in vivo: significance of polar chlorophyll catabolites in a non-yellowing senescence mutant of *Festuca pratensis* Huds. *New Phytologist* **111**, 3 -8.

Thompson, J.E., Froese, C.D., Madey, E., Smith, M.D., Hong, Y. (1998): Lipid metabolism during plant senescence. *Progress in Lipid Research* **37**, 119 – 141.

Tichew, S. (1995): An analysis of the mechanisms of spontaneous succession on brown coal opencast mining dumps. *7th European Ecological Congress, Budapest, Hungary, Book of Abstracts*, 245.

Tiffin, L.O. (1972): Translocation of micronutrients in plants. In: Micronutrients in Agriculture. Eds: Mortvedt, J.J., Giordano, P.M., Lindsay, W.L. *Soil Science Society of America, Madison, WI*, 199.

Tjurin, I. (1965): Agrochemical methods of soil analysis. Nauka, Moscow.

Tong, Y-P., Kneer, R., Zhu, Y-G. (2004): Vacuolar compartmentalization: a second–generation approach to engineering plants for phytoremediation. *Trends in Plant Science* **9**(1), 8 – 9.

Tóth, S.Z., Nagy, V., Puthur, J.T., Kovacs, L., Garab, G. (2011): The Physiological Role of Ascorbate as Photosystem II Electron Donor: Protection against Photoinactivation in Heat-Stressed Leaves. *Plant Physiology* **156**, 382 – 392.

Tóth, S.Z., Puthur, J.T., Nagy,V., and Garab, G. (2009): Experimental evidence for ascorbate dependent electron transport in leaves with inactive oxygen-evolving complexes. *Plant Physiology* **149**, 1568–1578.

Townsend, W. N., and Hodgson, D.R. (1973): Edaphological problems associated with deposits of pulverized fuel ash. In: Hutnik, R.J. and Davis, G. (eds.) Ecology and Reclamation of Devasted Land. Vol. I. Gordon and Breach, New York, 45-56.

Tripathi, R.D., Srivastava, S., Mishra, S., Singh, N, Tuli, R., Gupta, D.K., Maathius, F.J.M. (2007): Arsenic hazards: strategies for tolerance and remediation by plants. *Trends in Biotechnology* **25**(4), 158 – 165.

Tripathi, R.D., Vajpayee, P., Singh, N., Rai, U.N., Kumar, A., Ali, M.B., Kumar, B., Yunus, M. (2004): Efficiency of various amendments for amelioration of fly ash toxicity: growth performance and metal composition of *Cassia siamea* Lamk. *Chemosphere* **54**, 1581 – 1588.

Tripathi, R.S. and Harper, J.L. (1973): The comparative bilogy of *Agropyron repens* L. (Beav.) and *A. caninum* L. (Beav.): 1. The growth of mixed population established from tillers and from seeds. *Journal of Ecology* **61**, 353 – 368.

Tsadilas, C., Tsantila E., Stamatiadis, S., Antoniadis, V., Samaras, V. (2006): Influence of fly ash application on heavy metal forms and their availability. In: Trace elements

in the Environment (Biogeochemistry, Biotechnology and Bioremediation). Eds: Prasad, M.N.V., Sajwan, K.S., Naidu, R. *CRC, Taylor & Francis, Boca Raton*, 63 – 75.

Tsadilas, C.D., Yassoglou, N., Kosmas, C.S., Kallianou, C.H. (1994): The availability od soil boron fractions to olive trees and barley and their relationshipsto soil properties. *Plant and Soil* **162**, 211 – 217.

Tsuda, T., Shiga, K., Ohshima, K., Kawakishi, S., Osawa, T. (1996): Inhibition of lipid peroxidation and the active oxygen radical scavenging effect of anthocyanin pigments isolated from *Phaseolus vulgaris* L. *Biochemical Pharmacology* **52**, 1033-1039.

U.S. Environmental Protection Agency, USEPA (2002): Guidelines for the application of SEM/EDX analitical techniques to particulate matter samples. *EPA-600/R-02-070, Washington*, DC.

U.S. Environmental Protection Agency, USEPA (2007): Human and Ecological Risk Assessment of Coal Combustion Wastes (draft).

U.S. Environmental Protection Agency. USEPA Method 3051 (1998): Microwave assisted acid digestion of sediments, sludges and oils, in Test Methods for Evaluating Solid Waste, SW 846, *USEPA, Washington, DC.*

U.S. Environmental Protection Agency. USEPA Method 3052 (1996): Microwave assisted acid digestion of siliceous and organically based matrices, in Test Methods for Evaluating Solid Waste, SW 846, *USEPA, Washington, DC.*

Uchida, K. (2003): 4-Hydroxy-2-nonenal: a product and mediator of oxidative stress. *Progress in Lipid Research* **42**(4), 318–343.

Ullrich-Eberius, C.I., Sanz, A., Novacky, J. (1989): Evaluation of arsenate- and vanadate-associated changes of electrical membrane potential and phosphate transport in *Lemna gibba* G1. *Journal of Experimental Botany* **40,** 119–128.

Utsunamyia, T. (1980): Japanese Patent Application No 55 – 72959.

Uzu, G., Sobanska, S., Sarret, G., Munoz, M., Dumat, C. (2010): Foliar lead uptake by lettuce exposed to atmospheric fallouts. *Environmental Science and Technology* **44**, 1036 - 1042.

Van de Mortel, J.E., Villanueva, A.L., Schat, H., Kwekkeboom, J., Coughlan, S., Moerland, P.D., van Themaat, E.V.L., Koornneef, M., Aarts, M.G.M. (2006):

Large expression differences in genes for iron and zinc homeostasis, stress response, and lignin biosynthesis dis-tinguish roots of *Arabidopsis thaliana* and the related metal hyperaccumulator *Thlaspi caerulescens*. *Plant Physiology* **142**, 1127–1147.

Van der Hoek, E.E., Bonouvrie, P.A., Comans, R.N.J. (1994): Sorption of As and Se on mineral components of fly ash: Relevance for leaching processes. *Applied Geochemistry* **9**, 403 – 412.

Van Hulst, R. (1987): Invasions model of vegetation dynamics. *Vegetatio* **69**, 123 – 131.

Vassilev, S.V., Vassileva, C.G., Karayigit, A.I., Bulut, Y., Alastuey, A., Querol, X. (2005): Phase-mineral and chemical composition of composite samples from feed coals, bottom ashes, and fly ashes at the Soma power station, Turkey. *International Journal of Coal Geology* **61**, 35 – 63.

Vassilev, V.S. and Vassileva, C.G. (2005). Methods for Characherization of Composition of Fly Ashes from Coal-Fired Power Stations: A Critical Overview. *Energy Fuel* **19**, 1084-1098.

Verma, S. and Dubey, R.S. (2003): Lead toxicity induces lipid peroxidation and alters the activities of antioxidant enzymes in growing rice plants. *Plant Science* **164**, 645-655.

Vicentini, F., Hörtensteiner, S., Schellenberg, M., Thomas, H., Matile, P. (1995): Chlorophyll breakdown in senescent leaves: identifcation of the biochemical lesion in a stay-green genotype of *Festuca pratensis* Huds. *New Phytologist* **129**, 247–252.

Vimmerstedt, J.P., House, M.C., Larson, M.M., Kasile, J.D., Bishop, B.L. (1989): Nitrogen and carbon accretion on Ohio coal minespoils: influence of soil forming factors. *Landscape and Urban Planning* **17**, 99-111.

Violante, A., Cozzolino, V., Perelomonov, L., Xaporale, A.G., Pigna, M. (2010): Mobility and bioavailability of heavy metals and metalloides in soil environments. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* **10**(3), 268 – 292.

Vollenweider, S., Weber, H., Stolz, S., Chetalat, A., Farmer, E.E. (2000): Fatty acid ketodienes and fatty acid ketotrienes: Michael addition acceptors that accumulate in wounded and deseased *Arabidopsis* leaves. *Plant Journal* **24**, 467 – 476.

Volodarskii, I.Kh., Itkin, Yu.V., Shpirt, M.Ya., Zhuravleva, E.L. (1988): Distribution of Molybdenum, Cadmium, Zirconium, Arsenic, Selenium, and Antimony in the Products of Coal Burning. *Khimiya Tverdogo Topliva* **1**, 122.

Voss, E.G. (1972): Michigen flora. Part I. Gymnosperms and monocots. Bloomfield Hills, MI: Cranbrook Institute of Science, Ann Arbor, MI. *University of Michigan Herbarium*, 488.

Vranova, E., Inze, D., Van Breusegem, F. (2002): Signal transduction during oxidative stress. *Journal of Experimental Botany* **53**, 1227 – 1236.

Vukičević, E. (1973): Rod *Calamagrostis*. In: Flora SR Srbije V. Ed: Josifović, M. *Srpska Akademija Nauka i Umetnosti. Odeljenje prirodno-matematičkih nauka. Beograd*, 308 – 442.

Vukojević, V., Sabovljević, M., Jovanović, S. (2005): Mosses accumulate heavy metals from the substrate of coal ash. *Archives of Biological Sciences* **57**(2), 101 – 106.

Wallace, G. and Fry, S. (1994): Phenolic components of the plant cell wall. *International Review of Cytology* **151**: 229- 267.

Walsh, L.M., Sumner, M.E., Keeney, D.R. (1977): Occurrence and distribution of arsenic in soils and plants. *Environmental Health Perspectives* **19**, 67-71.

Wang, J., Zhao, F-J., Meharg, A.A., Raab, A., Feldmann, J., McGrath, S.P. (2002): Mechanisms of Arsenic Hyperaccumulation in *Pteris vittata*. Uptake Kinetiks, Interactios with Phosphate, and Arsenic Speciation. *Plant Physiology* **130**, 1552 – 1561.

Wang, R.**Z**. (2007): Physiological divergences between two rhizomatous grasses from a desertification steppe, North China. *Photosynthetica* **45**(3): 463 – 468.

Wang, W.S., Shan, X.Q., Wen, B., Zhang, S.Z. (2004): A method for predicting bioavailability of rare earth elements in soils to maize. *Environmental Toxicology and Chemistry* **23** (3), 767 – 773.

Wardle, D.**A**., Bardgett, R.D., Klironomos, J.N., Setala, H., van der Putten, W.H., Wall, D.H. (2004): Ecological linkage between aboveground and below-ground biota. *Science* **304**, 1629 – 1633.

Washko, J.B., Jung, G.A., Decker, A.M. (1967): Management and productivity of perennial grasses in tje Northeast: III. Orchardgrass. Morgantown, WV. *West Virginia University, Agricultural Experimental Station*, 48.

Waterman, P.G. and Mole, S. (1994): Analysis of phenolic plant metabolites. *Blackwell Science, Oxford, UK*.

Weber, H., Chetelat, A., Reymond, P., Farmer, E.E. (2004): Selective and powerful stress gene expression in *Arabidopsis* in response to malondialdehyde. *Plant Journal* **37**, 877–888.

Wellburn, A.R. (1994): The spectral determination of chlorophylls *a* and *b*, as well as total carotenoids using various solvents with spectrophotometers of different resolution. *Journal of Plant Physiology* **144**, 307 – 313.

Wenrong, C., Xiaoc, Y., Zhenh, H., Ying, F., Fenghog, H. (2008): Differential changes in photosynthetic capacity, 77 K chlorophyll fluorescence and chloroplast ultrastructure between Zn-eficiency and Zn–ineficiency rice genotypes (*Oryza sativa*) under low zinc stress. *Physiologia Plantarum* **132**, 89 – 101.

Westhoff V. and van der Maarel E. (1973): The Braun-Blanquet approach. In: *Handbook of vegetation science V. Ordination and classification of communities*. Ed. Whittaker, R.H. *Junk, The Hague*, 617-726.

Wigmore, J.W. and Kubrycht, S.A. (1990): Sea lagoons in Hong Kong for the disposal of pulverized fuel ash (PFA). *Waste Management & Research* **8** (6), 405-417.

Wilkinson, R.E. and Ohki K. (1988): Influence of manganese deficiency and toxicity on isoprenoid synthesis. *Plant Physiology* 87, 841–846.

Willson, S.D. (1989): The suppression of native prairie by alien species introduced for revegetation. *Landscape and Urban Planning* **17**, 113 – 119.

Wong, C.K.E. and Cobbett, C.S. (2009): HMA type ATPAses are the major mechanism for root to shoot translocation in *Arabidopsis thaliana*. *New Phytologist* **181**, 71–78.

Wu, L., Huang, Z.Z., Burau, R.G. (1988): Selenium accumulation and selenium salt cotolerance in five grass species. *Crop Sciences* **28**, 517 – 522.

Wu, Z., Liang, F., Hong, B., Young, J.C., Sussman, M.R., Harper, J.F., Sze, H. (2002): An endoplasmatic reticulum-bound Ca^{2+}/Mn^{2+} pump, ECA1, supports plant growth and confers tolerance to Mn 2^{+} stress. *Plant Physiology* **130**, 128 – 137.

Xin, C-P., Yang, J., Zhu, X-G. (2013): A model of chlorophyll a fluorescence induction kinetics with explicit description of structural constraints of individula photosystem II units. *Photosynthesis Research* (in press).

Yamasaki, H., Sakihama, Y., Ikehara, N. (1997): Flavonoid peroxidase reaction as a detoxification mechanism of plant cells against H_2O_2. *Plant Physiology* **115**, 1405–1412.

Yamasaki, H., Uefuji, H., Sakihama, Y. (1996): Bleaching of the red anthocyanin induced by superoxide radical. *Archives of Biochemistry and Biophysics* **332**, 183–186.

Yamasaki, S., Sakata-Sogawa, K., Hasegawa, A., Suzuki, T., Kabu, K., Sato, E., Kurosaki, T., Yamashita, S., Tokunaga, M., Nishid, K., Hirano, T. (2007): Zinc is a novel intracellular second messenger. *Journal of Cell Biology* **177**, 637–645.

Yang, X., Ying, F., He, Z., Stoffella, P.J. (2005): Molecular mechanisms of heavy metal hyperaccumulation and phytoremediation. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology* **18**, 339 – 353.

Yates, D.J. and Huntlay, L.B. (1995): Foliar uptake of water by wet leaves of Solanea woollsii, an Australian subtropical rainforest tree. *Australian Journal of Botany* **43**, 157 – 167.

Yeo, A.**R**., Flowers, S.A., Rao, G., Welfare, N., Senanayake, N., Flowers, T.J. (1999): Silicon reduces sodium uptake in rice (*Oryza sativa* L.) in saline conditions and this is accounted for by a reduction in the transportational bypass flow. *Plant Cell Environment* **22**, 559 – 565.

Yruela I. (2005): Copper in plants. *Brazilian Journal of Plant Physiology* **17**, 145–156.

Yudovich, Y.**E**. and Ketris, M.P. (2006): Selenium in coal: A review. *International Journal of Coal Geology* **67**, 112 – 126.

Zayed, A., Lytle, C.M., Terry, N. (1998): Accumulation and volatilization of different chemical species of selenium by plants. *Planta* **206**, 284 – 292.

Zhang, C., Wang, L., Zhang, W., Zhang, F. (2013): Do lignification and silification of the cell wall precede silicon deposition in the silica cell of the rice (*Oryza sativa* L.) leaf epidermis? *Plant and Soil* (in press).

Zhao, F.J., Wang, J.R., Barker, J.H.A., Schat, H., Bleeker, P.M., McGraph, S.P. (2003): The role of phytochelatins in arsenic tolerance in the hyperaccumulator *Pteris vittata*. *New Phytologist* **159**, 403 – 410.

Zhao, Z., Shahrour, I., Bai, Z., Fan, W., Feng, L., Li, H. (2013): Soils development in opencast coal mine spoils reclaimed for 1 – 13 years in the West Northern Loess Plateau of China. *Europian Journal of Soil Biology* **55**, 40 – 46.

Zheng, S.J., Ma, J.F., Matsumoto, H. (1998): High aluminium resistance in buckwheat. I. Al – induced specific secretion of oxalic acid from root tips. *Plant Physiology* **117**, 745 – 751.

Zimmer, W. and Mendel, R. (1999): Molybdenum Metabolism in Plants. *Plant Biology* **1**, 160 – 168.

Životić, M.M., Stojiljković, D.D., Jovović, A.M., Čudić, V.V. (2012): Mogućnost korišćenja pepela i šljake sa deponije termoelektrane „Nikola Tesla" kao otpada sa upotrebnom vrednošću. *Hemijska industrija* **66**(3), 403 – 412.

Zyrin, N.G., Rerich, W.J., Tikhomirov, F.A. (1976): Forms of zinc compounds in soils and its supply to plants. *Agrokhimiya* **5**, 124.

BIOGRAFIJA



Mr Gordana M. Gajić je rođena 28.09.1972. godine u Beogradu, gde je završila osnovnu i srednju školu. Biološki fakultet Univerziteta u Beogradu, studijska grupa Opšta biologija, upisala je školske 1991/1992 godine. Diplomirala je 2000. godine sa prosečnom ocenom 8.58. Iste godine je upisala poslediplomske studije na Biološkom fakultetu Univerziteta u Beogradu, smer Ekologija biljaka. Od 2000. godine je zaposlena kao istraživač pripravnik, a od 2001. godine kao asistent na Odeljenju za ekologiju Instituta za biološka istraživanja „Siniša Stanković“ Univerziteta u Beogradu. Poslediplomske studije je završila 2007. godine, kada je i odbranila svoju magistarsku tezu pod nazivom „Uticaj aerozagađenja na funkcionalno-strukturne karakteristike gajenih žbunastih vrsta *Syringa vulgaris* L., *Ligustrum ovalifolim* Hassk. i *Spiraea van-houttei* (Briot.) Zab. u Beogradu“. Iste godine je izabrana u zvanje istraživač saradnik.

Od 2000 – 2010. godine, mr Gordana M. Gajić je naučno-istraživački rad realizovala kroz tri projekta koja su bila finansirana od strane Ministarstva za nauku i tehnologiju Republike Srbije, kao i Ministarstva nauke i životne sredine Republike Srbije. Od 2011 – 2014 godine je uključena u projekat 173018 pod nazivom „Ekofiziološke adaptivne strategije biljaka u uslovima multipnog stresa“ pod rukovodstvom dr Pavla Pavlovića, naučnog savetnika i direktora Instituta za biološka istraživanja „Siniša Stanković“ Univerziteta u Beogradu. Projekat je finansiran od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije.

Do sada je kao autor i koautor objavila 18 naučnih radova u međunarodnim časopisima, jedno poglavlje u monografiji od međunarodnog značaja, 14 kongresna saopštenja na skupovima od međunarodnog i nacionalnog značaja i 4 saopštenja sa međunarodnog i nacionalnog skupa objavljenog u celini. Prema ISI / Web of Science i Scopus-u ima 16 citata. Recezent je časopisa od međunarodnog značaja: *Plant Physiology and Biochemistry* i *Trees – Structure and Function*.

Član je Srpskog Biološkog društva i društva ekologa Srbije. Od 2004. godine aktivno učestvuje kao mentor u okviru Republičkog centra za talente, Beograd.

Прилог 1.

Изјава о ауторству

Потписани-а Гордана М. Гајић_____

број индекса _____/_____

Изјављујем

да је докторска дисертација под насловом

„Екофизиолошке адаптације одабраних врста зељастих биљака на депонији пепела термоелектране „Никола Тесла – А“ у Обреновцу“

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

Потпис докторанда

У Београду, _____

_____

Прилог 2.

Изјава о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада

Име и презиме аутора __Гордана М. Гајић_____

Број индекса _____/_____

Студијски програм __/_____

Наслов рада ____„Екофизиолошке адаптације одабраних врста зељастих биљака на депонији пепела термоелектране „Никола Тесла – А“ у Обреновцу“_____

Ментори
Редовни професор у пензији др Бранка Стевановић, Биолошки факултет, Универзитет у Београду_____

Научни саветник др Мирослава Митровић, Институт за биолошка истраживања „Синиша Станковић“, Универзитет у Београду_____

Потписани/а ___Гордана М. Гајић_____

Изјављујем да је штампана верзија мог докторског рада истоветна електронској верзији коју сам предао/ла за објављивање на порталу **Дигиталног репозиторијума Универзитета у Београду.**

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

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

Потпис докторанда

У Београду, _____

_____

Прилог 3.

Изјава о коришћењу

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

„Екофизиолошке адаптације одабраних врста зељастих биљака на депонији пепела термоелектране „Никола Тесла – А“ у Обреновцу“

која је моје ауторско дело.

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

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

1. Ауторство
2. Ауторство - некомерцијално
3. Ауторство – некомерцијално – без прераде
4. Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима
5. Ауторство – без прераде
6. Ауторство – делити под истим условима

(Молимо да заокружите само једну од шест понуђених лиценци, кратак опис лиценци дат је на полеђини листа).

Потпис докторанда

У Београду, _____

_____

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

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

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

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

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

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